

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

*МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ ШКОЛЫ
ПО ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ*

Казань, 14-18 октября 2013 г.



**КАЗАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
2013**

УДК 581.1
ББК 28.57
А43

*Печатается по рекомендации редакционно-издательского совета
Казанского (Приволжского) федерального университета*

А43 Актуальные вопросы современной физиологии растений: материалы Всероссийской студенческой школы по физиологии и биохимии растений (Казань, 14-18 октября 2013 г.). – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 60 с.

В сборнике представлены материалы Всероссийской студенческой школы по физиологии и биохимии растений «Актуальные вопросы современной физиологии растений». Рассмотрены вопросы экологической физиологии, биохимии и генетики растений, методов биотехнологии растений.

Для преподавателей, аспирантов, научных работников и студентов вузов.

© Коллектив авторов, 2013
© Казанского университета, 2013

КОРРЕЛЯЦИЯ ПРОСТЫХ САХАРОВ И ОБЩЕГО АЗОТА В РАЗНЫХ ОРГАНАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Н.С. Говорова, С.Н. Черезов

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

Исследование зависимости роста и продуктивности растений от уровня минерального питания имеет прикладное значение: именно оно лежит в основе агрохимических опытов по оптимизации доз удобрений. В таких исследованиях обычно варьируют абсолютные количества отдельных питательных элементов в среде - их концентрации или дозы. Между тем в ряде случаев возникает необходимость выяснить действие относительных количеств элементов, то есть соотношения между отдельными компонентами питательной смеси в пределах их неизменной суммарной концентрации [2].

Согласованность процессов усвоения углевода и азота в процессе развития растений является решающим фактором в формировании урожайности [4, 5]. Цель работы заключалась в исследовании этой корреляции в онтогенезе двух сортов яровой пшеницы, Экада-70 и Симберцит, которые характеризуются высоким потенциалом урожайности.

Объектами лабораторных исследований являлись органы яровой пшеницы (листья и корни). Растения выращивались на растворах питательной смеси Хоглэнда-Арнона с суммарной концентрацией макроэлементов (N+P+K) 50 мг экв-атом/л (двойная доза), но при разном соотношении N: P: K в среде: 1 вариант- 68%: 5%: 27%; 2 вариант- 34%: 16%: 50%; 3 вариант- 17%: 13%: 70%. Контроль выращивался на дистиллированной воде. Для определения содержания сахаров был использован метод Самнера, а для азотных соединений – ускоренный метод определения общего азота.

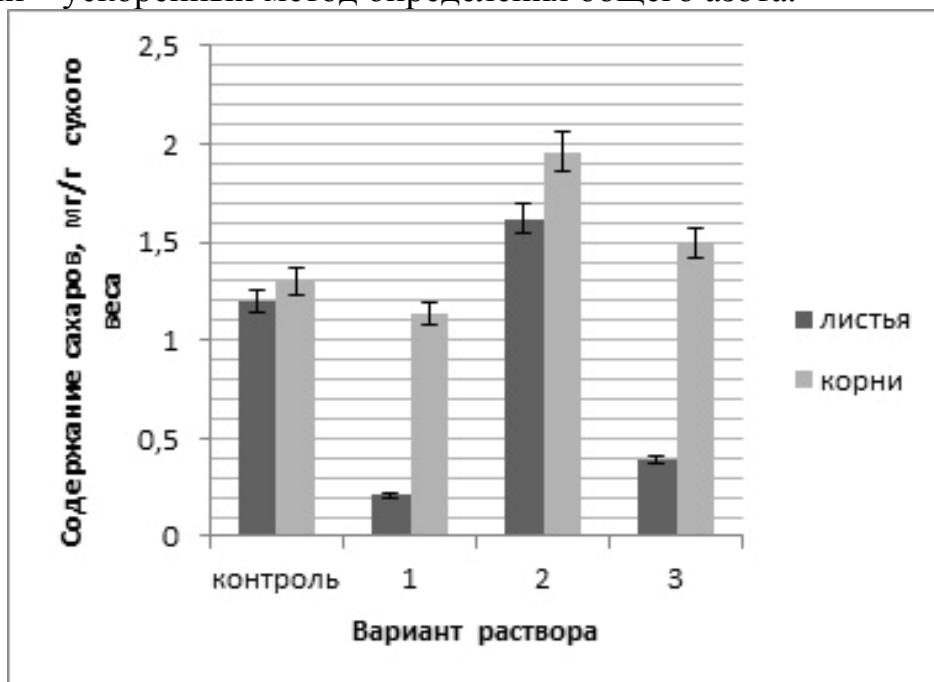


Рисунок 1. Содержание сахаров в растениях сорта «Экада-70» на 9-ый день

На основе проведённых экспериментов (рис. 1) было выявлено, что для обоих сортов содержание сахаров в корнях было больше, чем в листьях. Известно, что избыток азота вызывает усиленный рост листьев, а недостаток фосфора, при котором замедляется процесс физиологического созревания, приводит к значительному снижению сахара [3]. Именно это и наблюдалось у растений «Экада-70» для 1-го варианта. Общеизвестно, что калий усиливает ассимиляцию CO_2 , усиливает отток углеводов из листьев в другие органы, что, по-видимому, и увеличило содержание сахаров в 3-ем варианте, особенно на 9-ый день развития растений. Однако, наиболее оптимальным вариантом питательного раствора, как для листьев, так и для корней был выявлен 2-ой вариант.

Аналогичная картина по изменению содержания сахаров наблюдалась и для сорта «Симберцит», где на 7-ой и 11-ый день развития растений содержание сахаров было минимально, а на 9-ый - максимально. Для этого сорта 2-ой вариант питательной смеси также оказался оптимальным по восстановлению сахаров.

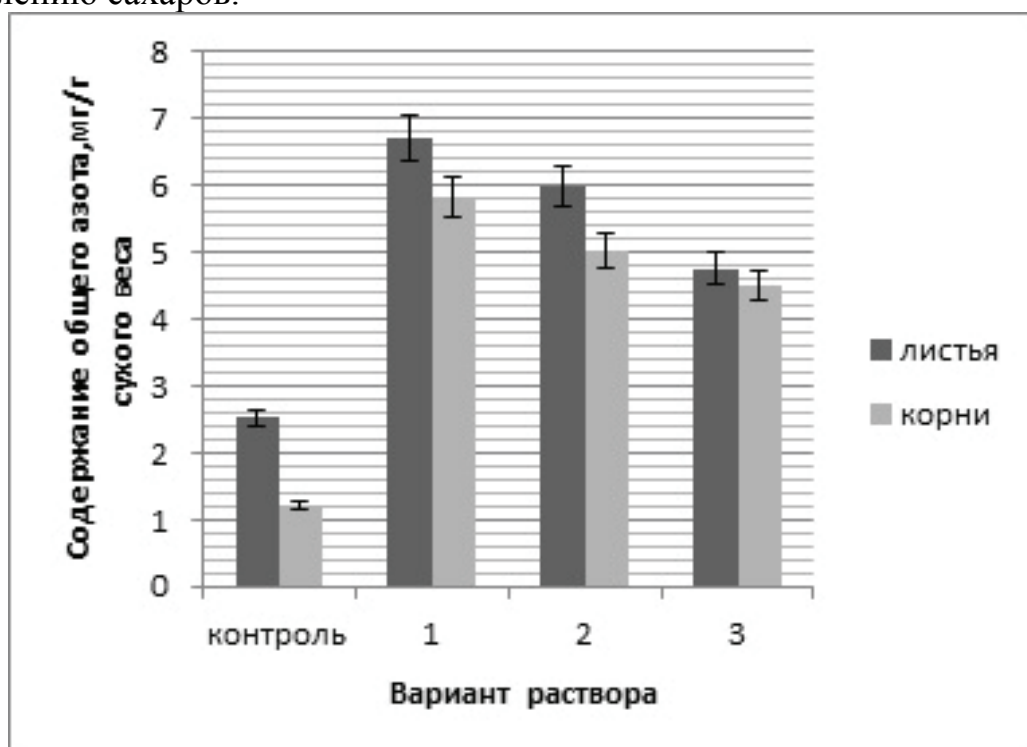


Рисунок 2. Содержание азота в растениях сорта «Экада-70» на 9-ый день

На рисунке 2 для всех трёх опытных вариантов приведены данные по содержанию азота в растениях сорта «Экада-70». Как видно, содержание азота для всех вариантов почти в 2-3 раза больше, чем в контроле и азот в большей степени транспортируется из корневой системы в листовую. Также необходимо отметить общую тенденцию уменьшения содержания азота от 1-го к 3-му варианту как для листьев, так и для корней для обоих сортов. В литературе по этому поводу отмечается, что содержание азота в органах растений увеличивается при возрастании концентрации доступного растениям азота в

почвенном или питательном растворе [1]. Аналогичная динамика азота наблюдалась и для сорта «Симберцит».

На основе проведенных экспериментов были изучены корреляционные связи. Обнаружена сильная положительная корреляция по сахарам между листьями и корнями для обоих сортов как в контроле (70 % корреляционных связей), так и для всех вариантов (96%), слабая связь между сахарами и азотом (9 %).

Литература

1. Андреева И.Н., Сварадж К., Козлова Г.И. // Физиология растений. -1987. - Т. 34. ,№ 3. -С. 528–536.
2. Вахмистров Д.Б., Воронцов В.А. Соотношение элементов минерального питания в среде и рост растений.// Физиология растений. -1994. -Т. 41.,№ 3. –С. 73.
3. Николаенко Л.А. Влияние микроэлементов на фотосинтетический потенциал (ФСП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и урожайность кукурузы: автореф. дис. канд. с.-х. наук. - Барнаул, 2001. - 16 с.
4. Ничипорович А.А., Иизен Т.Т., Андреева Т.Ф. Сравнительная оценка взаимосвязи между фотосинтезом и некоторыми особенностями азотного метаболизма у кукурузы и бобов. // Физиология растений . -1972. - Т.19.,№5. С. 1600-1619.
5. Смирнова В.В., Вахмистров Д.Б. Оптимизация суммарной дозы N+P+K и соотношение N:P:K в удобрении озимой пшеницы для лесостепи Украины // Агрохимия. -1991. -№ 4. –С.165-171.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ОРГАНОВ У ТРЕХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Л.Р. Самигуллина, Л.П. Хохлова

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Казань

Координация роста побега и корня лежит в основе целостности растительного организма [1]. Способность растений к коррелятивному росту разных органов определяется генетически и в то же время в большой степени зависит от внешних и внутренних факторов. Ростовый ответ растения включает координацию роста побега и корня, направленную на оптимизацию использования ресурсов [2]. Регуляция соотношения массы побега и корня – одно из наиболее важных проявлений способности растения координировать процессы роста на уровне целого организма [3]. Установлена роль различных сигналов – гормональных, гидравлических и трофических в ростовых ответах побегов и корней на внешние воздействия [4]. Однако совершенно открытым

является вопрос о влиянии уровня минерального питания на согласованность процессов роста разных органов и их сортоспецифичность.

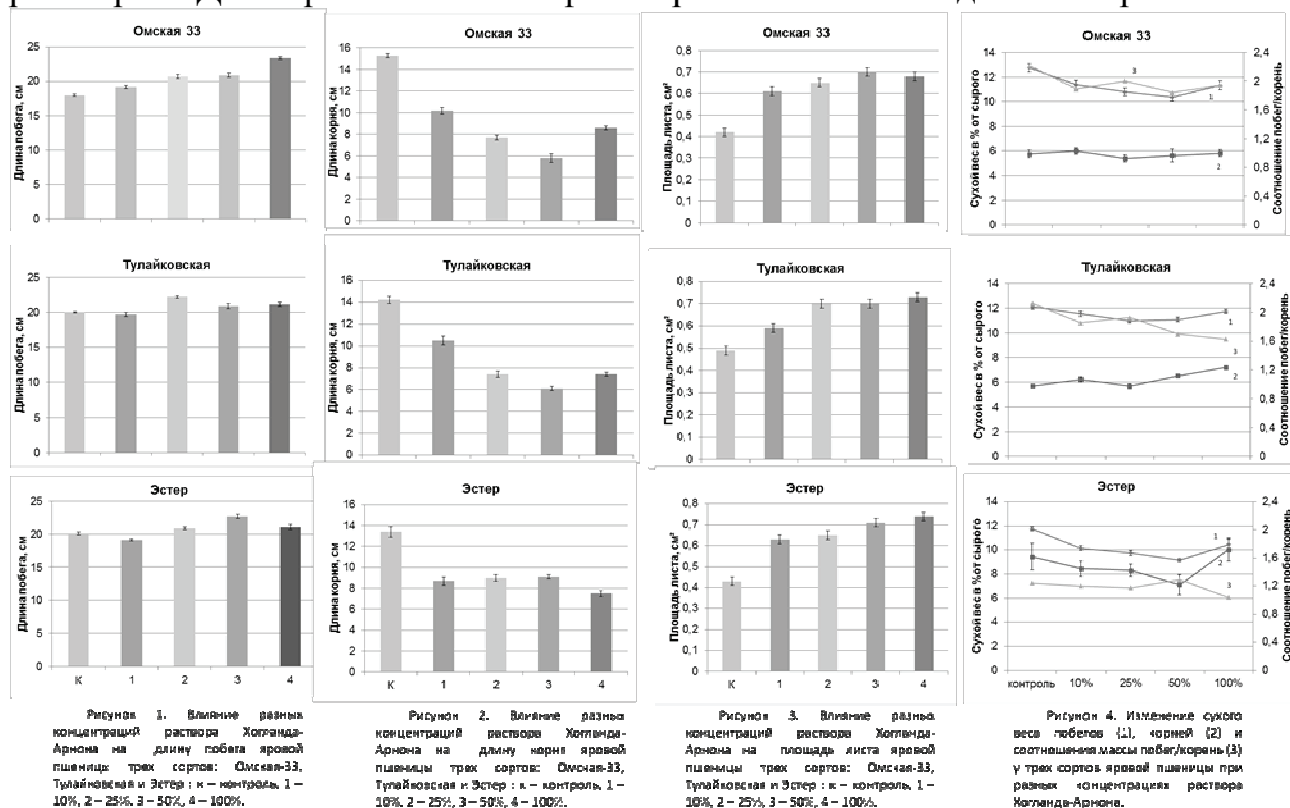
Целью работы являлось выяснение динамики ростовых ответов побегов, корней и листьев на постепенное нарастание уровня минерального питания в среде выращивания у разных сортов яровой пшеницы.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований служили 10-ти суточные растения яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Омская 33, Тулайковская и Эстер. Суточные проростки высаживали в кюветы с водопроводной водой (контроль) и с растворами Хогланда-Арнона различных концентраций: 10%, 25%, 50%, 100% (опыт). Среду выращивания обновляли каждые два дня. Растения выращивали при температуре 23/20°C и фотопериоде 12 ч. У 10-суточных растений измеряли длину побега и корня, площадь листьев, сырую и сухую массу побега и корня.

Результаты и обсуждения

Из рисунка 1 следует, что повышение концентрации питательного раствора вызывает постепенное достоверное увеличение длины побега с достижением максимального значения при 100%-ной концентрации у сорта Омская 33, у Эстер при 50%, у Тулайковской – при 25%. Затем у всех сортов происходило ингибирование роста побегов по мере повышения концентрации растворов. Для корней отмечена прямо противоположная динамика роста.



Из данных рисунка 2 видно, что уже при слабой концентрации раствора (10%) происходило резкое снижение роста корней по сравнению с контролем. У сортов Омская 33 и Тулайковская это ингибирование ростовой реакции корней продолжалось до 50%-ной концентрации раствора. Однако после этого

в 100%-ном растворе наблюдали стимуляцию роста. Эти результаты указывают на фазный характер динамики роста корней Омской 33 и Тулайковской, что может быть отражением более высокой приспособляемости корневой системы этих сортов к высоким дозам минерального питания. Четкая зависимость установлена по влиянию разных концентраций питательного раствора на площадь листьев, что видно на рисунке 3. Наибольшее нарастание листовой поверхности по сравнению с контролем происходило начиная со слабого 10%-ного раствора и продолжалось вплоть до высоких концентраций. Сортные различия проявились в более высоких темпах увеличения площади листьев у растений Омской 33 и Эстер.

Из полученных данных следует, что динамика роста надземных органов и корневой системы в зависимости от уровня минерального питания является прямо противоположной. Можно предположить, что стимуляция роста побегов и нарастание листовой поверхности на фоне ингибирования роста корней под действием возрастающих концентраций минерального питания обуславливается перераспределением гормонов и ассимилятов между органами, а именно снижением содержания цитокининов и накоплением АБК в корнях. На рисунке 4 приведены данные для сухой массы побегов, корней и соотношения массы побег/корень. Обнаружено достоверное увеличение содержания сухой массы корней и побегов при 100%-ной концентрации раствора. Среди сортов существенных различий по биомассе побегов не выявлено. Больше накопление сухого веса в 100%-ном растворе произошло у корней сорта Эстер. Обращает на себя внимание более высокая степень стабильности биомассы у растений сортов Омская 33 и Тулайковская. По соотношению массы побег/корень отмечены сортные различия: наибольшей величиной этого показателя характеризовался сорт Омская 33, наименьшей – сорт Эстер, а промежуточной – сорт Тулайковская.

Заключение.

1. Установлена прямо противоположная динамика ростовых процессов надземных и подземных органов разных сортов яровой пшеницы на фоне возрастающего уровня минерального питания – стимуляция роста побегов и листьев и торможение роста корней. Это может обуславливаться корневым гормональным сигналингом – накоплением АБК и снижением содержания цитокининов в корнях вследствие оттока последних в побеги.
2. Наибольшее удлинение побегов отмечено у устойчивого сорта Омская 33 при максимальной концентрации питательного раствора (100%), а у менее устойчивых растений сортов Эстер и Тулайковская – в более разбавленных растворах (в 50%-ном и 25%-ном, соответственно). По-видимому, эти результаты отражают сортоспецифические особенности потребностей растений в уровне минерального питания.
3. Обнаружена фазная динамика ростовых ответов корней растений Омская 33 и Тулайковская на постепенное увеличение концентрации ионов, что

может свидетельствовать о более высокой приспособляемости (пластичности) этих сортов к высоким дозам минерального питания.

4. При варьировании уровня минерального питания ход кривых биомассы побегов и корней у более устойчивых сортов Омская 33 и Тулайковская характеризовался большей стабильностью в отличие от сорта Эстер.
5. Соответствие динамики соотношения массы побег/корень изменениям биомассы побега сорта Омская 33 позволяет считать, что основной вклад в координацию процессов роста надземных и подземных органов устойчивых растений вносят ростовые реакции побега.

Литература

1. Чайлахян М.Х. Целостность организма в растительном мире // Физиология растений. – 1980. – Т.27. – С. 917-941.
2. Hsiao T., Xu L.R. Sensitivity of Growth of Roots versus Leaves to Water Stress: Biophysical Analysis and Relation to Water Transport // J. Exp. Bot. 2000. – V. 51. – P. 1595-1616.
3. Beck E. Regulation of the Shoot/Root Ratio by Cytokinins in *Urtica dioica*: Opinion // Plant Soil. – 1996. – V. 185. – P. 3-12.
4. Высоцкая Л.Б. Распространение гормональных, гидравлических и трофических сигналов и их взаимодействие в растениях при внешних воздействиях на корневую систему: автореф. дис. докт. биол. наук. – Уфа, 2012. – 46 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ И СОДЕРЖАНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ, ВЫРАЩЕННЫХ НА РАЗНОКАЧЕСТВЕННОМ СВЕТУ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАСОЛЕНИЯ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

А.И.Мутугуллина, Т.П.Якушенкова

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

Каталаза относится к основным ферментам, участвующим в детоксикации пероксида водорода. Она всегда присутствует в системах, где происходят процессы клеточного дыхания с участием цитохромов [1]. Пероксид водорода является наиболее стабильным из продуктов восстановления кислорода и способен легко проникать через биологические мембраны [2]. Свет является важным фактором регуляции фотоморфогенеза растений с участием множественных систем трансдукции сигнала [3]. Имеются многочисленные данные по влиянию спектрального состава света на морфогенез, метаболизм, скорость фотосинтеза и другие физиологические процессы. Однако работ по влиянию света различного спектрального состава на антиоксидантные ферменты и содержание активных форм кислорода в литературе практически не встречается. В связи с этим целью настоящей

работы явилось исследование активности каталазы и определение содержания перекиси водорода у проростков пшеницы при выращивании на разном качественном спектральном свете при засолении (NaCl) и действии тяжелых металлов (Cd, Cu).

Объектом исследования служили семисуточные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Казанская 560. Растения выращивались в растильне, разделенной на три светоизолированных блока: 1 - белый свет (источник освещения – люминесцентные лампы ЛДС-40), 2 – синий свет (источник освещения люминесцентные лампы ЛГ-40, пик пропускания 420-460 нм), 3 – красный цвет (источник освещения – люминесцентные лампы ЛК-40, пик пропускания 620-640 нм) при 12-часовом фотопериоде. Проростки выращивались на водопроводной воде в кюветах (контроль). Засоление вызывали добавлением на третьи сутки в среду выращивания NaCl в концентрации 150 мМ. Действие тяжелых металлов было обусловлено CdSO₄ концентрацией 1мМ и CuSO₄ концентрацией 1мМ.

Активность фермента каталазы определяли согласно методике Лукаткина [4]. Содержание H₂O₂ определяли спектрофотометрически согласно Беллинкампи с соавт. [5].

Было установлено, что при воздействии NaCl концентрацией 150 мМ, активность каталазы в листьях уменьшилась в 2 раза по сравнению с контролем и не зависела от спектрального состава света (рис. 1). При обработке растений CdSO₄ концентрацией 1мМ, в листьях активность каталазы оставалась на уровне контроля. При воздействии CuSO₄ концентрацией 1мМ, в листьях была обнаружена достоверная разница между вариантами, на красном свете активность фермента в листьях увеличилась в 1,5 раза, а на синем и на белом свете активность оставалась на одном уровне с контролем.

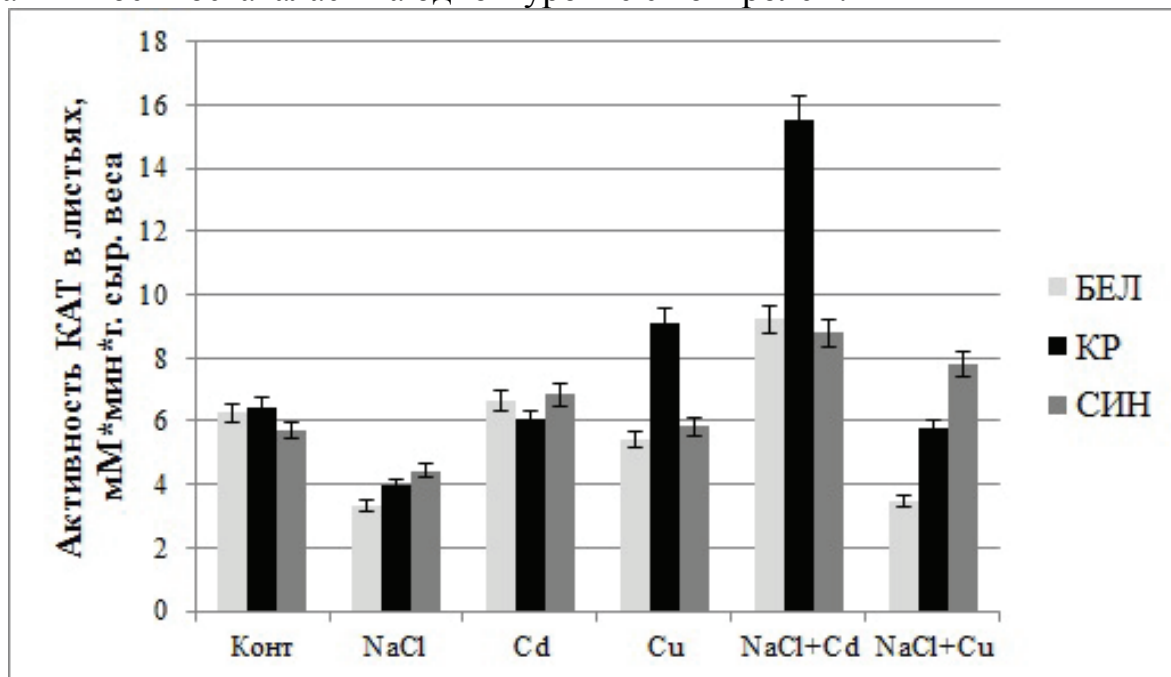


Рисунок 1. Влияние засоления и тяжелых металлов на активность каталазы в листьях озимой пшеницы сорта Казанская 560, выращенных на разнокачественном свете.

Креславский [6] предполагает, что активация антиоксидантных ферментов с помощью КС может происходить путем, описанным для трансдукции фитохромного сигнала через активацию факторов транскрипции типа PIF3, обеспечивающих прямую фоторегуляцию экспрессии защитных генов и через транзитное повышение уровня свободного Ca^{+2} в цитозоле. Предобработка NaCl концентрацией 150 мМ вызывала стимуляцию активности фермента. При совместном действии NaCl с CuSO_4 активность фермента увеличилась на синем свете незначительно.

Было обнаружено, что разнокачественный свет влияет на содержание пероксида водорода (рис. 2). Максимальное значение содержания перекиси водорода наблюдалось у контрольных растений, выращенных на красном свете,

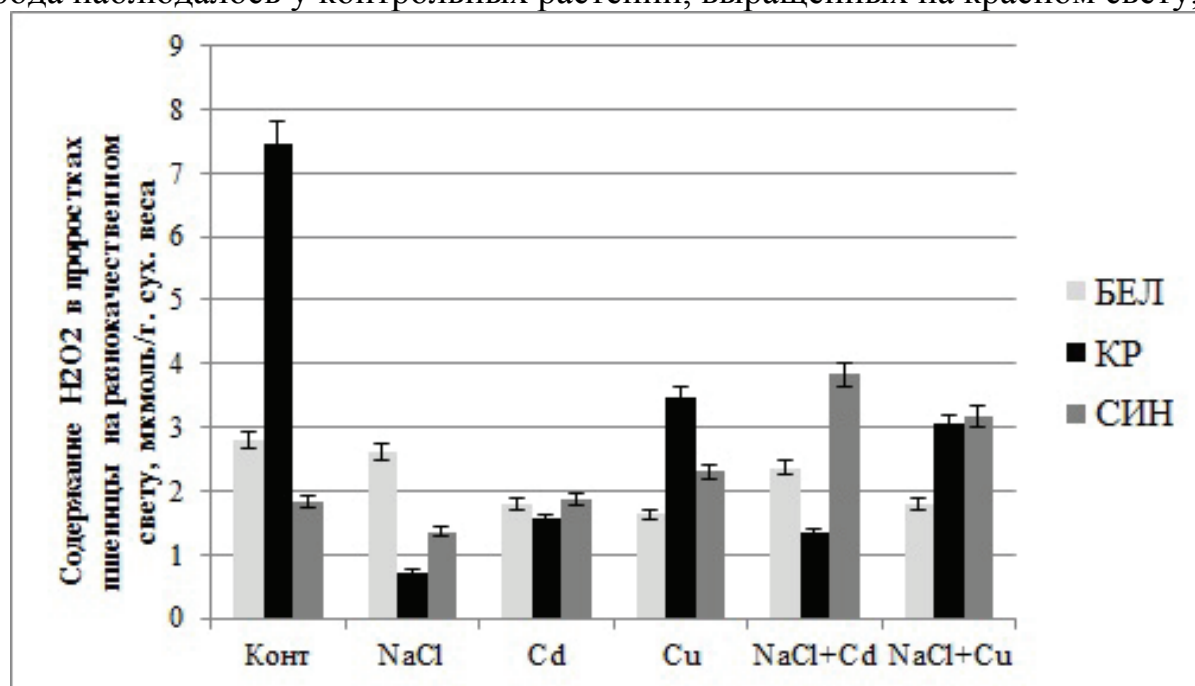


Рисунок 2. Влияние засоления и тяжелых металлов на содержание пероксида водорода в листьях озимой пшеницы сорта Казанская 560, выращенных на разнокачественном свете.

причем, если на белом и на синем свете эти значения различались незначительно, то на красном были в 2,5 раза выше. В опытных вариантах наблюдалось максимальное содержание перекиси водорода на белом, синем или красном свете и зависело от того, чем были обработаны растения. Так при обработке NaCl концентрацией 150 мМ больше всего перекиси содержалось в проростках, выращенных на белом свете, при обработке с CuSO_3 концентрацией 1 мМ на красном, при совместном действии соли и CuSO_3 максимум перекиси наблюдался на красном и синем свете. Таким образом, была обнаружена прямая корреляция между содержанием пероксида водорода и активностью каталазы во всех вариантах, кроме растений предобработанных NaCl концентрацией 150 мМ. После предобработки растений NaCl действие CuSO_3 не вызывало увеличения в содержании пероксида водорода, но значительно увеличивало активность каталазы. Это может свидетельствовать о том, что засоление возможно приводило к изменению pH среды клетки, либо

красный свет совместно с засолением вызывал сверх синтез фермента, либо по каким-то причинам в клетке происходило накопление данного фермента. Повышение стресс-устойчивости при облучении КС необязательно связано с усиленным транзитным образованием АФК. В недавних работах было показано, что после активации кратковременным КС, фитохром переходит из цитозоля в ядро, где с помощью факторов транскрипции прямо взаимодействует со светоактивируемыми генами, вызывая их экспрессию [6], приводящую к повышению устойчивости растений.

Литература.

1. Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н., Иванищев В.В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – Т. 49, №2. – С. 161-183.
2. Половинкина Е.О., Синицына Ю.В. Окислительный стресс и особенности воздействия слабых стрессоров физической природы на перекисный гомеостаз растительной клетки. – Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2010.- 62 с.
3. Якушенкова Т.П., Лосева Н.Л., Алябьев А.Ю. Свет различного спектрального состава и резистентность проростков яровой пшеницы при действии супероптимальной температуры // Вестник Башкирского университета. – 2001. – Т.2, № 2. – С. 94-96.
4. Лукаткин А. С. Активность антиоксидантных ферментов в динамике охлаждения // Физиология растений. – 2002. – Т. 49, № 6. – С. 878-885.
5. Bellincampi D., Dipperro N., Salvi G., Cervcone F., De Lorenzo G. Extracellular H₂O₂ induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the Auxin-Regulated *rolB* gene expression in tobacco leaf explants // Plant Physiology. – 2000. – V. 122, № 2. – P. 1379-1385.
6. Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов Вл.В. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, № 2. – С. 163-178.

ДИНАМИКА САХАРОВ И АЗОТА В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВАРИАЦИИ N:P:K СООТНОШЕНИЙ

Г.И. Гараева, С.Н. Черезов

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

Поиск путей наиболее полного и рационального использования растениями элементов минерального питания удобрений и почвы во все времена оставался одной из главных задач науки и практики. Столь пристальное внимание к данной проблеме обусловлено тем, что уровень

минерального питания растений во многом определяют их урожай и его качество. Потребление растениями элементов питания в онтогенезе определяется многими факторами. Важное место в решении этого вопроса отводится дробному применению минеральных удобрений, приуроченности их внесения к периоду наибольшей потребности растений в элементах питания, особенно азота. Гетерогенное распределение удобрений в почве оказывает большое влияние на трансформацию элементов питания, рост и развитие растений, функциональную активность корневой системы. [1-2]. Оптимальность уровня одного элемента зависит от уровня всех других, и оптимальность уровня всех элементов зависит от уровня каждого из них в отдельности. [3-4].

Объектами исследования являлась яровая пшеница двух сортов Экада-70 и Симбирцит, выращенные в лабораторных условиях на водной питательной среде Хогланда-Арнона. Основным достоинством этих сортов является высокий потенциал урожайности. Использовались полные питательные смеси по макроэлементам N,P,K. Питательная смесь готовилась по схеме $N+P+K=22$ мг экв-атом/л.[5-6-7]. Использовались три варианта смесей, каждый из которых составлял 22 мг экв-атом/л, но внутри каждого варианта менялось соотношение N:P:K, 1)вариант-68%:5%:27%, 2)вариант-34%:16%:50%, 3)вариант-17%:13%:70%. Контрольные растения выращивались на дисстилизованной воде. Пробы брались на седьмой, девятый и одиннадцатые дни.

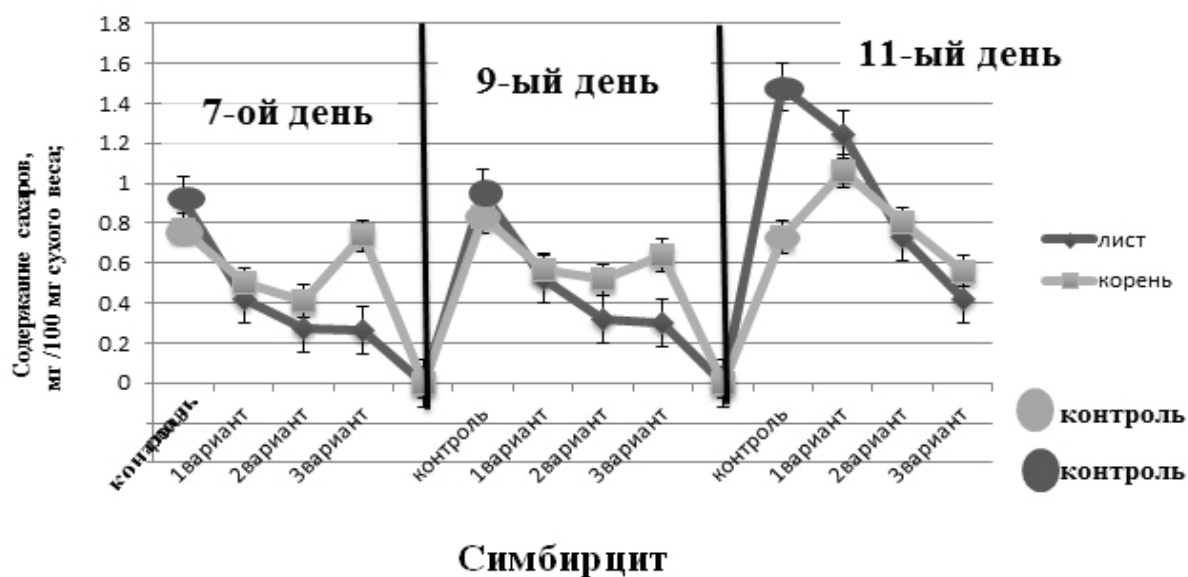


Рисунок 1. Общая динамика сахаров для сорта Симбирцит

По результатам наших исследований, содержание сахаров в опытных вариантах было меньше, чем в контроле. Это говорит о том, что в первые дни всходов, в контроле питательные вещества зерновок интенсивно используются на начальном этапе развития растений. В опытных же вариантах, в этот период развития, происходит интенсивное восстановление сахаров внешним питательным раствором, особенно для первого и второго вариантов с соответствующим соотношением N:P:K. В третьем варианте, содержание

сахаров приближалось к контрольному варианту. При сравнении трех вариантов между собой, наблюдалось увеличение содержания сахаров от первого к третьему варианту, как в листьях, так и в корнях. Причем, большая тенденция наблюдалась в корнях. Третья питательная смесь с меньшим содержанием азота, большим содержанием калия и средним содержанием фосфора, оказалась оптимальной по содержанию сахаров, как в листьях, так и в корнях обоих сортов (рис. 1).

Противоположенная сахарам закономерность наблюдалась в содержании азота, как в листьях, так и в корнях исследуемых сортов. В листьях и корнях опытных вариантов содержание азота было больше, чем в контроле. В первом варианте почти в 2,5 раза больше в листьях сорта Экада-70 и в 4,5 раз больше в корнях у сорта Симбирцит. Динамика азота линейно уменьшалась для листьев от первого к третьему варианту, и нелинейно в корнях (рис.2).

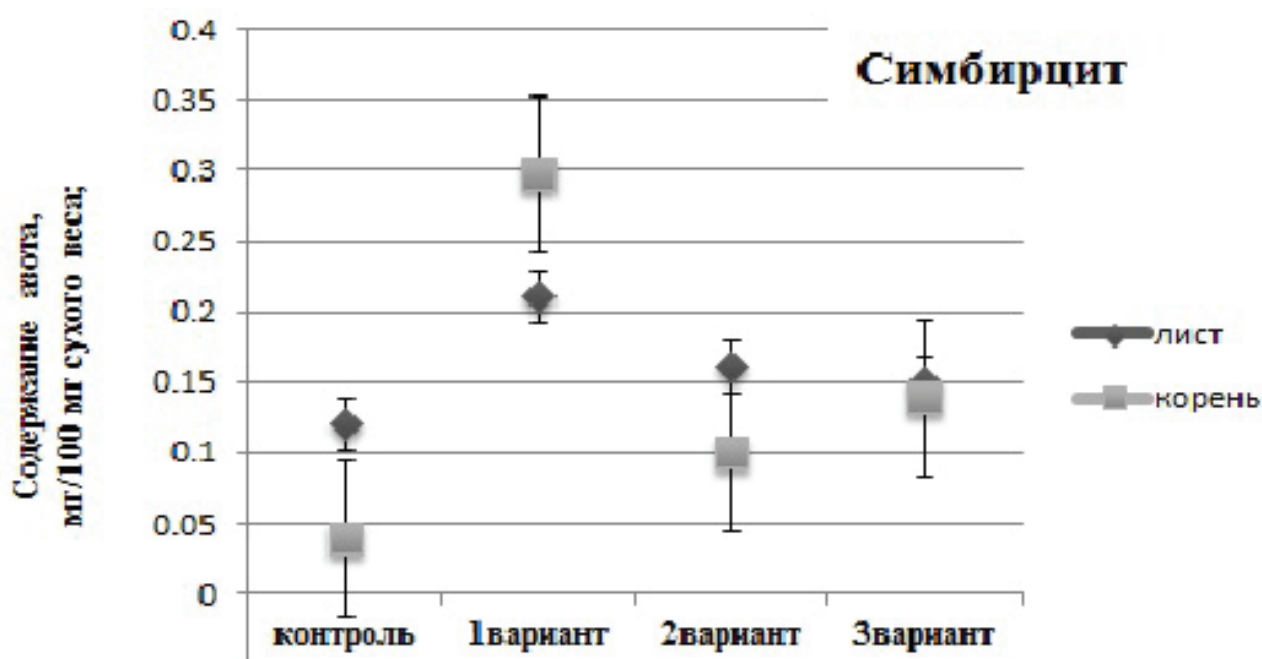


Рисунок 2. Содержание азота в растениях пшеницы на 7й день

Таким образом, между содержанием сахаров и азота в лабораторных опытах при одной и той же суммарной концентрации Хогланда-Арнона, 22 мг экв-атом/л, но при разной вариации N:P:K, показана обратно-пропорциональная корреляция, между содержанием сахаров и азота как в листьях, так и в корнях.

Литература

1. Кореньков Д.А. Агрохимия азотных удобрений.- М.: Наука, 1976. – 208 с.
2. Брэй С.М. Азотный обмен в растениях. – М.: Агропромиздат, 1986. – 200с.

3. Haynes R.J. and Goh K.M. Ammonium and nitrate nutrition of plants // Biol. Rev. – 1978. – V.53. – P. 465-510.
4. Homes M.V., Van Schoor G.H. Alimentation et fumure minerals des vegetaux. – Bruxelles.: Palais des Academies. – 1982. – 360 p.
5. Вахмистров Д.Б., Воронцов В.А.. Соотношение элементов минерального питания в среде и рост растений. // Физиология растений. – 1994. – Т. 41, №3. – С.73.
6. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. – Киев: Наукова думка, 1973. –591 с.
7. Смирнова В.В., Вахмистров Д.Б. Оптимизация суммарной дозы N+P+K и соотношения N:P:K в удобрении озимой пшеницы для лесостепи Украины // Агрохимия. – 1991. – №4. – С. 165-171.

АКТИВНОСТЬ ЛЕКТИНОВЫХ БЕЛКОВ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ ИНФИЦИРОВАНИЯ ФИТОПАТОГЕНАМИ

Е.А. Грошева, Г.Х. Шаймуллина, Ю.Ю. Невмержицкая
ФГАУВПО Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г.Казань

В ходе онтогенеза сельскохозяйственные культуры подвергаются заражению возбудителями грибных заболеваний. Несомненно, период активации защитных механизмов растения является ключевым моментом в решении проблемы повышения их устойчивости. В этом плане распознавание микроорганизма в качестве патогена на самых ранних этапах взаимодействия присущее лектинам является одним из основных условий включения защитных реакции и возникновения состояния устойчивости [1].

Лектины - группа протеинов, характерной особенностью которых является способность специфически и обратимо связывать углеводные лиганды на поверхности клеток. Взаимодействие лектинов с углеводными компонентами фитопатогенов может запускать в ответ на микробную инфекцию цепь защитных реакций в растении-хозяине, в том числе задействованных в образовании реакции сверхчувствительности (СВЧ) [2]. Литературные данные демонстрируют вероятное участие в этих защитных реакциях растений свободных растворимых лектинов, локализованных в цитоплазматических компартментах клетки, а также лектинов, связанных с цитоплазматическими мембранами и клеточной стенкой.

Основываясь на вышесказанном, целью данной работы было определение активности растворимых лектинов и лектинов клеточной стенки в проростках пшеницы при инфицировании фитопатогенами. Объектом исследования служили проростки яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская-33. В качестве инфекционного агента использовали специфичный для растений пшеницы фитопатогенный гриб - *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr и неспецифичный - *Aspergillus niger*. Растения пшеницы выращивали в

лабораторных условиях в кюветах на водопроводной воде при освещенности 100 Вт/м² и 12-часовом фотопериоде. Семена перед посевом стерилизовали 2%-ным перманганатом калия (15 минут) и промывали стерильной дистиллированной водой. Семисуточные проростки опытного варианта в течение 1 часа выдерживали в водном растворе со спорами грибов с исходным титром $(1-3) \cdot 10^4$ КОЕ/см³. Уровень активности белков определяли через 1 час после инокуляции; концентрацию белка определяли методом Лоури. Для идентификации лектиновой активности исследовали агглютинацию трипсинизированных эритроцитов человека 1 группы крови.

В наших экспериментах заражение растений как *Fusarium spp.*, так и *Aspergillus niger* приводило к снижению активности растворимых лектинов у растений яровой пшеницы (рис. 1). При этом активность растворимых лектинов в большей степени изменялась в варианте с *A. niger*. Вероятно, ингибирующее влияние фитопатогенов на активность растворимых лектинов может быть обусловлено взаимодействием углеводсвязывающих центров этих белков с инфекционными структурами патогенов, в результате которого лектины не могут участвовать в агглютинации эритроцитов. Возможно, неспецифический возбудитель *A. niger* более эффективно инактивируется за счет усиления взаимодействия АЗП (агглютинин зародыша пшеницы) с углеводными компонентами фитопатогенов.

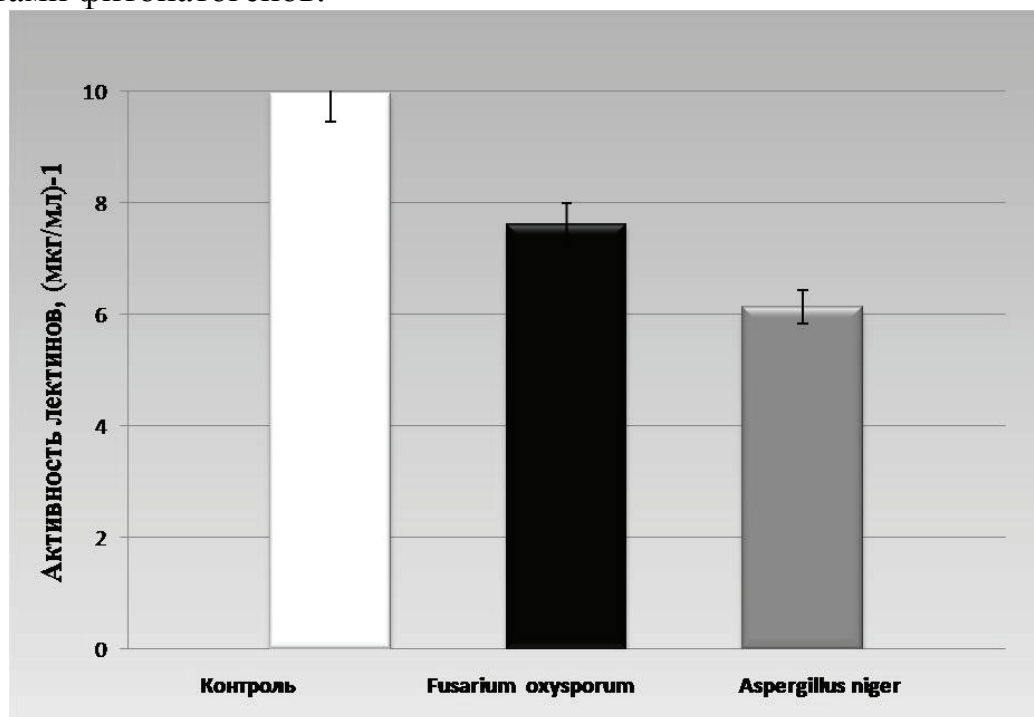


Рисунок 1. Активность растворимых лектинов яровой пшеницы сорта Омская-33 при инфицировании специфическим и неспецифическим фитопатогенами.

Лектины клеточной стенки могут выполнять роль рецепторов в распознавании чужеродных инфекционных структур. Так, прочносвязанный с клеточными стенками экстенсин агглютинирует большое количество авирулентных штаммов *Pseudomonas solanacearum*, вероятно, посредством

взаимодействия с мембранным липополисахаридом бактерий (ЛПС), но практически не связывает вирулентные штаммы [2].

В наших экспериментах как специфический фитопатоген – *Fusarium spp.*, так и неспецифический – *A. niger* увеличивали активность лектинов клеточной стенки (рис. 2). Можно предположить, что пониженная реакция растений на специфический фитопатоген по сравнению с неспецифическим может быть связана с менее интенсивной скоростью формирования защитных реакций и, как следствие, угнетением биосинтетической активности пораженных тканей растения [3], в том числе процессов активации лектинов. Известно, что супрессоры гриба, угнетающие устойчивость растений к инфицированию, также ингибируют защитную биосинтетическую активность поврежденных тканей. Иммуносупрессия является неотъемлемой особенностью паразитизма, а иммуносупрессоры выступают естественными антагонистами элиситоров и индуцируют в растительных тканях восприимчивость к болезням [5].

В литературе накоплено достаточное количество сведений, подтверждающих, что накопление лектинов тесно связано с индукцией устойчивого состояния растения-хозяина. Однако повышение содержания лектинов наблюдается и при инфицировании восприимчивых растений. Так, по данным Шакировой [2] заражение пшеницы возбудителем септориоза приводило к увеличению количества лектина на девятые сутки. Таким образом,

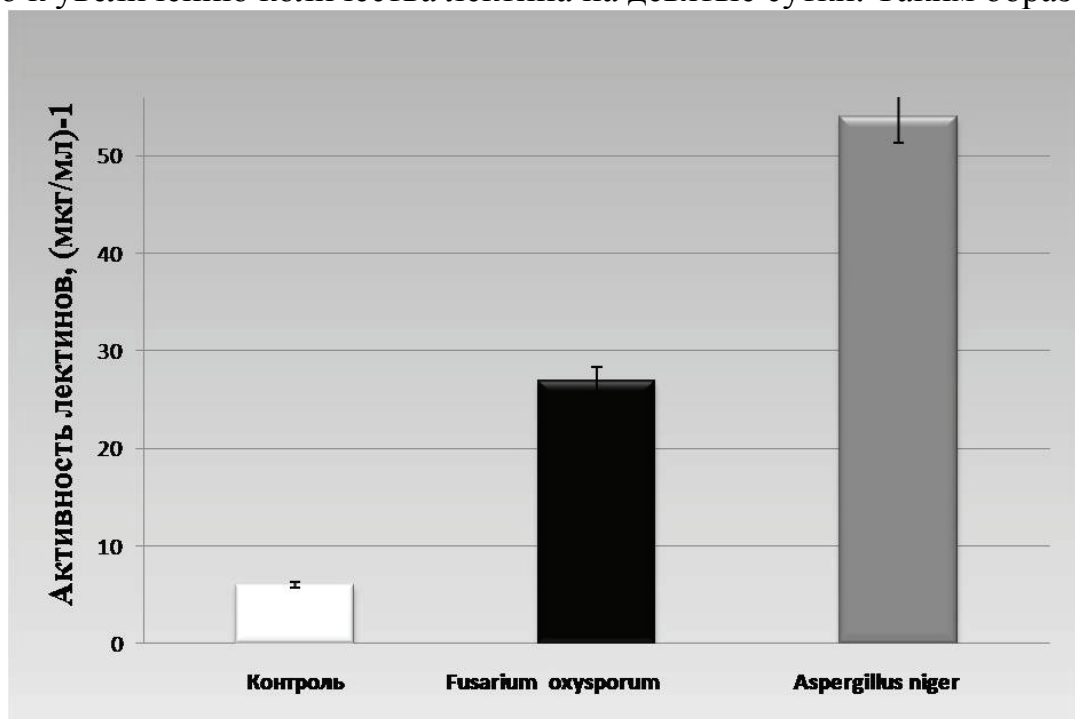


Рисунок 2. Активность лектинов клеточной стенки проростков яровой пшеницы сорта Омская-33 при инфицировании специфическим и неспецифическим патогенными грибами.

динамика содержания лектинов, по-видимому, имеет транзитный пик и более поздние и длительные количественные изменения. При этом, если первый в большинстве случаев коррелирует с устойчивостью растения, поздние изменения отражают симптомы болезни, т.е. коррелируют с восприимчивостью.

Литература

1. Бабоша А.В. Индуцибельные лектины и устойчивость растений к патогенным организмам и абиотическим стрессам // Биохимия. - 2008. - Т.73, вып. 7. - С. 1007-1022.
2. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. - Уфа: Гилем, 2001. – 159 с.
3. Молодченкова О.О., Адамовская В.Г., Цисельская Л.Й., Сагайдак Т.В.. Выделение и свойства лектинов клеточных стенок из проростков пшеницы при инфицировании грибными патогенами и действии салициловой кислоты // Вестник Харьковского национального аграрного университета серия биология. – 2012. – Т. 26, вып. 2. - С. 54-60.
4. Белава В.Н., Зеленый С.Б., Панюта О.А. Экспрессия генов лектина и дефенсина у сортов пшеницы Мироновская 808 и Roazon при инфицировании *Pseudocercospora herpotrichoides* // Biopolymers and Cell. - 2010.-Vol. 26, №1.- С. 45-50.

РЕГУЛЯЦИЯ СВЕТОМ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОВЫХ КРИВЫХ ФОТОСИНТЕЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

А.П.Кузнецова, Т.П.Якушенкова

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) Федеральный» университет, г.Казань

Свет в процессе жизнедеятельности растений нужен не только как источник энергии, но и как фактор регуляции их метаболизма, несущий информационно-сигнальную функцию [1].

Несмотря на большое количество работ по влиянию света на растения [2-4], данных о регуляторном влиянии селективного света на фотосинтетическую систему при действии неблагоприятных факторов в литературе практически не встречается.

Целью нашей работы явилось исследование интенсивности фотосинтеза у проростков пшеницы в условиях разнокачественного света при действии солей тяжелых металлов (CdSO_4 , CuSO_4) в концентрации 1 мМ.

Объектом исследования служили семисуточные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Казанская 560. Интенсивность фотосинтеза определяли на газоанализаторе GFS – 3000 (Германия).

При исследовании влияния качества света на интенсивность фотосинтеза у проростков пшеницы, выращенных на водопроводной воде, была выявлена спектральная зависимость данного показателя. Наши эксперименты

подтвердили литературные данные [3-5] о том, что скорость фотосинтеза у проростков, выращенных на синем свете (СС), была значительно выше, чем у проростков, выращенных на красном свете (КС) (рисунок 1).

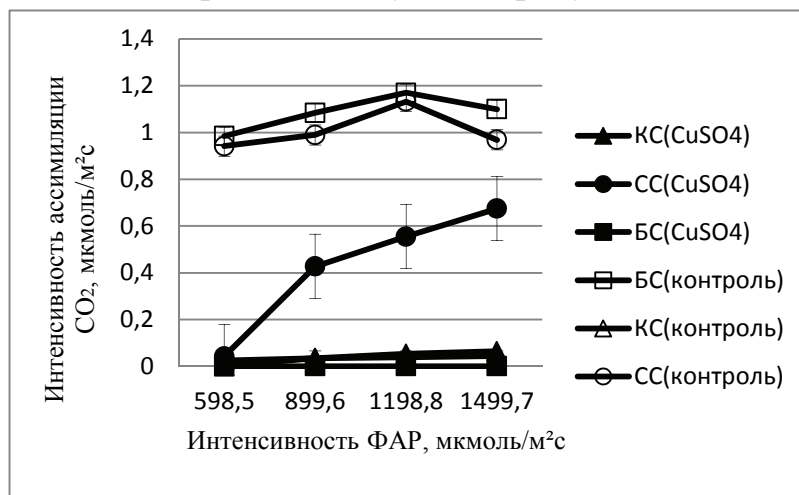


Рисунок 1. Интенсивность фотосинтеза у проростков пшеницы, выращенных на свету различного спектрально состава в условиях разнокачественного света при обработке CuSO₄(1мМ)

СС по сравнению с КС (выравненный по числу квантов) оказывает специфическое действие на фотосинтетический аппарат растений. На синем свете наблюдается более активная общая ассимиляция CO₂, что обусловлено активирующим действием СС на процессы электронного транспорта и на реакции углеродного цикла. В системе, где донором электронов служила вода, СС повышал активность фотовосстановления НАДФ⁺ почти в два раза по сравнению с активностью этой реакции у растений на КС. [3].

При изучении воздействия солей меди (CuSO₄ 1мМ) на проростки пшеницы отмечено снижение интенсивности фотосинтеза по сравнению с контрольными вариантами (рисунок 1). Но интенсивность фотосинтеза растений с СС оставалась выше, чем у проростков пшеницы с КС и БС. Видимо, у растений с СС происходит формирование более функционально-эффективного фотосинтетического аппарата по сравнению с растениями, выращенными на КС и БС [4]. Иная картина наблюдалась у проростков пшеницы, обработанных сульфатом кадмия (рисунок 2).

Наибольшая интенсивность фотосинтеза была у проростков пшеницы, выращенных на КС. У проростков с синего и белого участка наблюдали снижение интенсивности фотосинтеза под воздействием сульфата кадмия. Возможно, КС индуцирует механизмы, повышающие стресс-устойчивость фотосинтетического аппарата (ФА). Одним из таких механизмов может быть активация фитохромной системы, предшествующая формированию защитных и адаптивных реакций ФА растений к действию различных стрессоров, или повышение содержания Фх, прежде всего, Фх В [6].

Таким образом, нами было установлено, что свет различного спектрального состава оказывает регуляторное воздействие на интенсивность фотосинтеза, в зависимости от химической природы иона тяжелого металла.

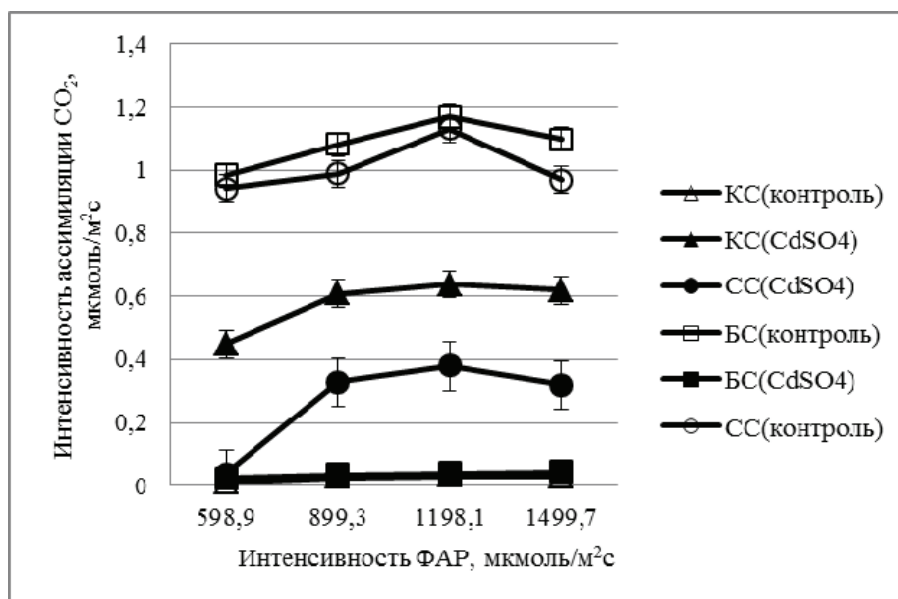


Рисунок 2 - Интенсивность фотосинтеза у проростков пшеницы, выращенных на свете различного спектрального состава в условиях разнокачественного света при обработке CdSO₄ (1мМ).

Литература

1. Креславский В. Д., Аллахвердиев С.И. Механизмы фоторецепторного сигнала в растительной клетке // Биологические мембраны.— 2006.— Т.23, №4. — С. 275-295
2. Бухов Н. Г. Интенсивность и спектральный состав света; влияние на начальные стадии фотосинтеза // Физиология растений. — 1987. — Т. 34, № 4. — С. 748-757.
3. Воскресенская Н. П. Фотосинтез и спектральный состав света. — М.: Наука, 1965.— 312 с.
4. Якушенкова Т.П. Сравнительное влияние синего и красного света на некоторые физиологические показатели и резистентность проростков яровой пшеницы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. б. н. — Казань. КГУ, КИББ КНЦ РАН, 2002.- 24 с.
5. Креславский В.Д. Регуляция стресс-устойчивости фотосинтетического аппарата индукторами различной природы: автореф. Дис. ...докт. биол. наук. — Москва, 2010. — 40 с.
6. Креславский В. Д., Христин М.С. Предоблучение отдельных листьев шпината красным светом повышает устойчивость фотосинтетического аппарата к УФ-радиации // Физиология растений.— 2012.— Т.59, №6. — С. 723-730.

РОСТ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В СВЯЗИ С ОБРАБОТКОЙ ДИТЕРПЕНОВЫМИ ГЛИКОЗИДАМИ.

У. А. Огороднова, А. С. Стробыкина, Ю. Ю. Невмержицкая
ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

В настоящее время регуляторы роста и некоторые природные соединения, часто обладающие специфичной биологической активностью, представляют большой интерес для исследований. К таким биологически активным веществам относятся и сладкие дитерпеновые гликозиды, выделенные из растения *Stevia rebaudiana* Bertoni, которые включают стевиозид, ребаудиозиды: А, В, С, D, Е, стевиолбиозид и дулькозиды А и В [1]. Было показано, что некоторые из них могут вызывать терапевтический эффект, выражающийся в антигипергликемическом воздействии, гипотензивном, противовоспалительном, противоопухолевом, мочегонном эффектах и иммуномодулирующем действии [2], а так же возможно использование стевиозида как сахарозаменителя [3]. В растениях же гликозиды отвечают за накопление, хранение и транспорт гидрофобных веществ. По сравнению с их свободным агликоном (гидрофобная часть), они лучше растворяются в воде и менее реакционноспособны. Агликон в составе дитерпеновых гликозидов не оказывает токсического влияния на организм, что облегчают его хранение в растительных вакуолях [4].

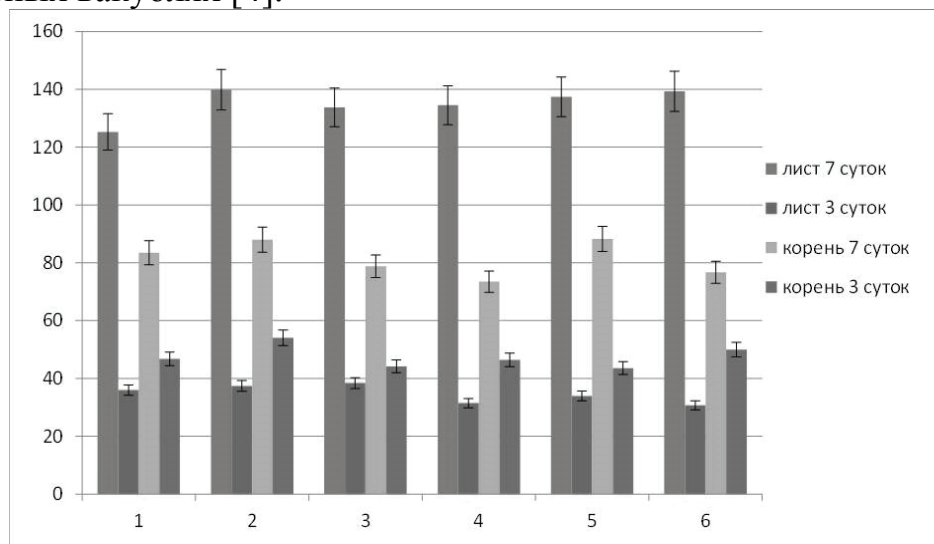


Рисунок 1. Влияние ребаудиозида А на длину корней и листьев пшеницы сорта Казанская 560 (мм): 1 – контроль, 2 – стевиозид (10^{-8} М), 3 – ребаудиозид А (10^{-6} М), 4 – ребаудиозид А (10^{-7} М), 5 – ребаудиозид А (10^{-8} М), 6 – ребаудиозид А (10^{-9} М)

Агликоном стевиозида и других гликозидов стевии является стевиол, синтезируемый из энт-каурена. Известно, что существует два пути синтеза фитогормона гиббереллина, в том числе и через каурен. В 1963 году было впервые обнаружено, что стевиол ускоряет рост карликового мутанта d-5

растения *Zea mays*, чувствительного только к действию гиббереллинов [5]. Из этого, опираясь на данные о синтезе гибберелловой кислоты и различных гликозидов стевии через общий промежуточный продукт каурен, можно предположить, что гликозиды стевии способны оказывать некоторое рострегулирующее действие на растения.

Таким образом, целью нашей работы являлось изучение действия гликозидов, выделенных из стевии (стевиозид и ребаудиозид А) и препарата «Свита» (натуральный сахарозаменитель, являющийся смесью гликозидов стевии, с 80% содержанием ребаудиозида А) на морфологические и физиолого-биохимические показатели растений пшеницы. Объектом исследования являлись растения озимой пшеницы сорта Казанская 560 и яровой пшеницы сорта Омская 33. Растворы исследуемых веществ вносили в среду выращивания растений в концентрации 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} М.

В первой серии экспериментов нами были определены эффективные концентрации, в которых гликозиды стевии оказывали максимальный рострегулирующий эффект на проростки пшеницы (Рисунки 1, 2, 3, 4).

Исследуемые соединения в наибольшей степени повышали рост растений в концентрации 10^{-8} М.. Причем стевиозид в данной концентрации оказывал большее влияние на морфометрические параметры проростков двух сортов, чем ребаудиозид А. «Свита» так же увеличивала рост растений, но в меньшей степени по сравнению со стевиозидом и ребаудиозидом А. Изменения роста растений под влиянием дитерпеновых гликозидов коррелировали с содержанием белка в них.

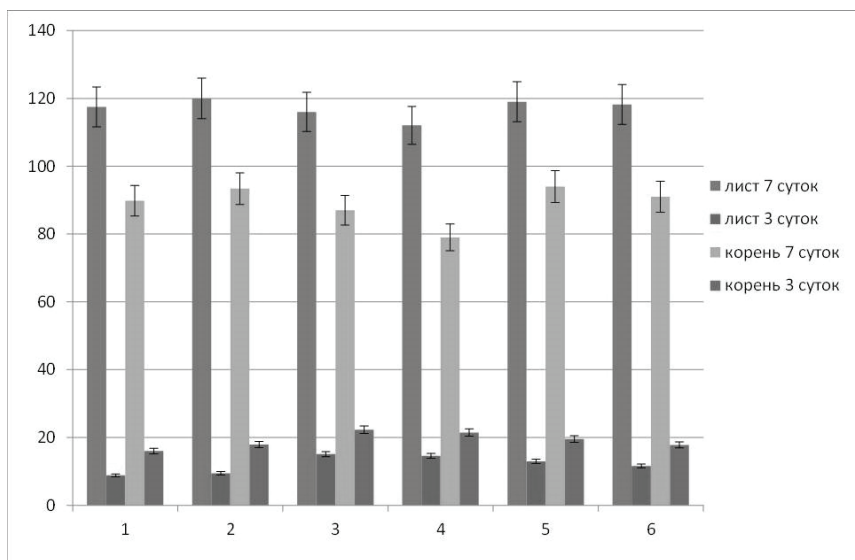


Рисунок 2. Влияние ребаудиозида А на длину корней и листьев пшеницы сорта Омская 33 (мм): 1 – контроль, 2 – стевиозид (10^{-8} М), 3 – ребаудиозид А 10^{-6} (М), 4 – ребаудиозид А (10^{-7} М), 5 – ребаудиозид А (10^{-8} М), 6 – ребаудиозид А (10^{-9} М).

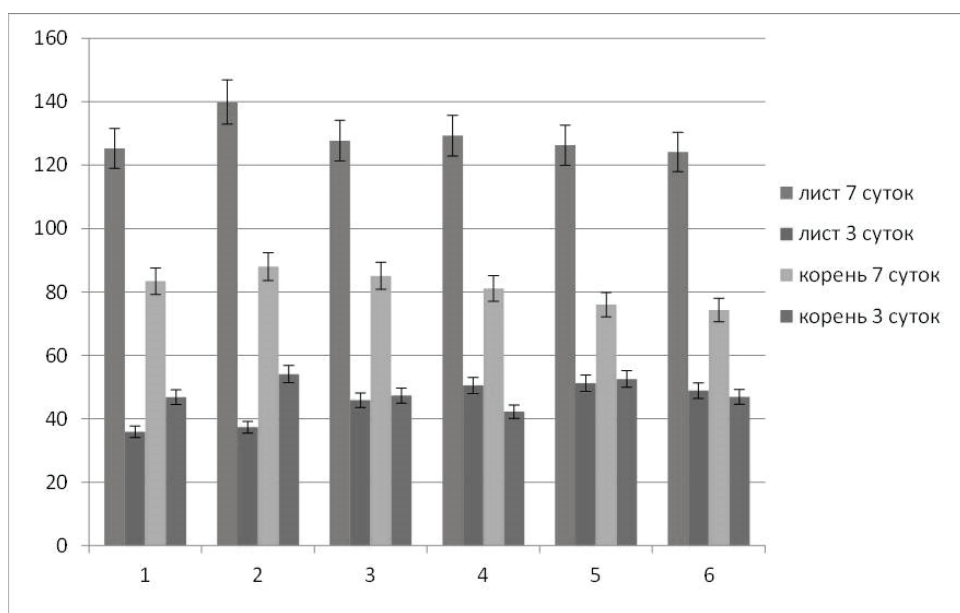


Рисунок 3. Влияние «Свиты» на длину корней и листьев пшеницы сорта Казанская 560 (мм): 1 – контроль, 2 – стевиозид (10^{-8} M), 3 – «Свита» (10^{-6} M), 4 – «Свита» (10^{-7} M), 5 – «Свита» (10^{-8} M), 6 – «Свита» (10^{-9} M).

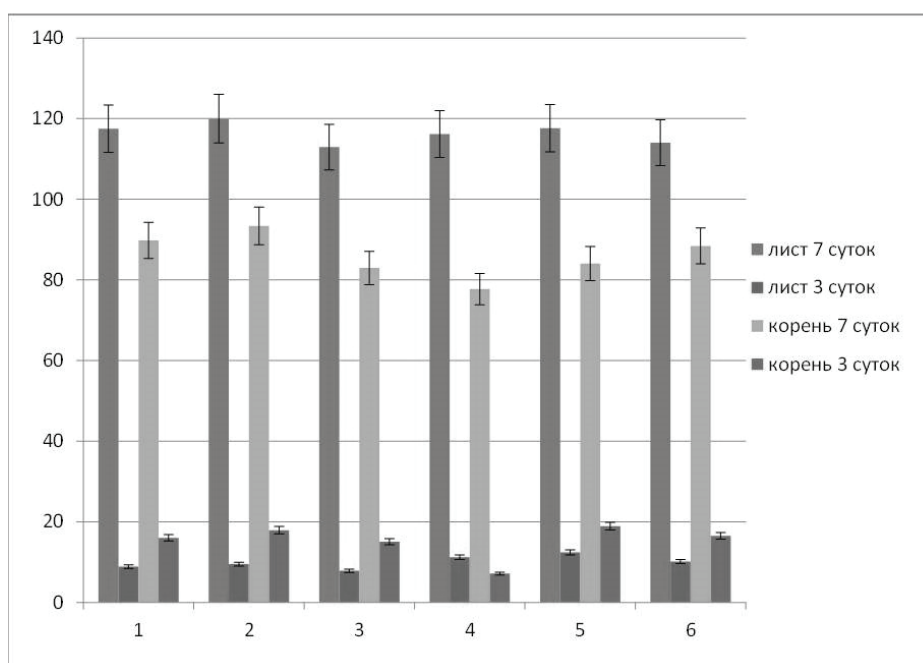


Рисунок 4. Влияние «Свиты» на длину корней и листьев пшеницы сорта Омская 33 (мм): 1 – контроль, 2 – стевиозид (10^{-8} M), 3 – «Свита» (10^{-6} M), 4 – «Свита» (10^{-7} M), 5 – «Свита» (10^{-8} M), 6 – «Свита» (10^{-9} M).

Известно, что гибберелловая кислота оказывает стимулирующее воздействие на прорастание семян, а исследуемые гликозиды имеют схожее с ней строение. Поэтому в следующей серии экспериментов нами проводился сравнительный анализ амилолитической активности у растений, выращенных на растворах стевиозид, ребаудиозид А и «Свиты». Стевиозид и ребаудиозид

А в концентрации 10^{-8} М оказали схожее действие. При этом препарат «Свита» вообще не влиял на исследуемый показатель.

В ранее проведенных исследованиях было показано, что наибольшей физиологической активностью из всех исследуемых стевииол-гликозидов обладал стевииозид. Мы предполагаем, что во многом биологическая активность гликозидов определяется количеством сахарных остатков, и что три остатка глюкозы, входящие в состав стевииозида, являются оптимальными для проявления высокой биологической активности. В наших исследованиях стевииозид также проявлял наибольшую биологическую активность по сравнению с ребаудизом А, содержащим четыре остатка глюкозы, и «Свитой».

Литература

1. Смирнова М.Г. Исследование физиологического и токсического действия на организм подсластителя стевииозида // Вопросы питания – 2001. – №4. – С. 41-44.
2. Chatsudthipong, V., Muanprasat, C. Stevioside and related compounds: Therapeutic benefits beyond sweetness. // Pharmacology & Therapeutics. – 2009. – V. 121. – P. 41-54.
3. Pol, J., Hohnova, B., Hyötyläinen, T. Characterization of Stevia rebaudiana by comprehensive two-dimensional liquid chromatography time of-flight mass spectrometry. // Journal of Chromatography A. – 2007. – V.1150. – P. 85-92.
4. Roode B.M. Perspectives for the industrial enzymatic production of glycosides // Biotechnol. Prog. – 2003. – V. 19, N 5. – P. 1391-1402.
5. Ruddat M., Heftman E., Lang A. Conversion of steviol to a gibberellin-like compound by Fusarium moniforme // Arch. Biochem. Biophys. – 1965. – V. 111. – P. 187-190.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРЫ

А.И. Фаляхова, В.Н. Воробьёв

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

В связи с интенсивным загрязнением атмосферы городов отходами транспортных средств и промышленных предприятий актуальной является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных воздействий с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических сообществ [1].

В настоящее время наиболее изученным объектом биоиндикации загрязненных территорий является одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.) [2-4].

В данной работе исследуются физиологические изменения одуванчика лекарственного, а именно перестройка фотосинтетического аппарата под действием загрязнителей атмосферы.

В качестве объекта исследований был выбран одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) двух морфологических форм: одуванчик Дальштедта (*T. off. f. dahlstedtii*) и одуванчик гребенчатовидный (*T. off. f. pectinatiforme*), которые различаются формой и степенью рассеченности листовой пластинки.

Для исследований использовали растения молодого генеративного (q_1) онтогенетического состояния, которые отбирали с трёх пробных площадок размером 10×40 м. Ценопопуляция №1 рассматривалась в качестве условно-контрольной: она расположена на опушке смешанного леса, находящегося в 7 км от города и в 0,1 км от проселочной дороги (район пос. Усады). Ценопопуляции №2 и №3 - газоны, расположенные вблизи регулируемых перекрестков на ул. Татарстан и ул. Горьковское шоссе соответственно. Исследуемые ценопопуляции можно отнести: № 2 - к загрязненной, а № 3 - к сильно загрязненной.

При относительно несильном уровне загрязнения атмосферы (ул. Татарстан) в обоих морфотипах не наблюдалось видимых изменений в концентрации хлорофилла ($a+b$) по сравнению с условным контролем (Усады). Известно, что стресс, индуцируя избыточную активацию метаболизма, может повышать общие адаптивные механизмы неспецифической устойчивости [5]. Этим, вероятно, обусловлено отсутствие заметного снижения суммарной концентрации хлорофиллов в ценопопуляции №2.

При сильном загрязнении атмосферы выбросами автотранспорта (ул. Горьковское шоссе) наблюдали снижение концентрации хлорофиллов у *T. off. f. dahlstedtii* на 36,4%, а у *T. off. f. pectinatiforme* на 41,3%. Сопоставление изменений в отношении хлорофилла a к хлорофиллу b обоих морфотипов демонстрирует адаптивные возможности их фотохимического аппарата. Для *T. off. f. dahlstedtii* не наблюдается изменений в показателях отношения хлорофилла a к хлорофиллу b с ростом загрязненности, что свидетельствует об адаптационных возможностях этого морфотипа. Вероятно, снижение этого отношения у *T. off. f. pectinatiforme* на 21% - результат истощения адаптационных возможностей.

Показатели суммарной концентрации хлорофиллов растений исследованных ценопопуляций сопоставимы с уровнем интенсивности ассимиляции углекислого газа (A) (рисунок 1).

Интенсивность ассимиляции CO_2 растениями обеих морфологических форм в условиях среднего загрязнения практически в два раза выше, чем у растений из ценопопуляции №3. Следует отметить тот факт, что интенсивность фотосинтеза (A) у растений *T. off. f. pectinatiforme* ниже, чем у *T. off. f. dahlstedtii* как в ценопопуляции № 2, так и в ценопопуляции № 3.

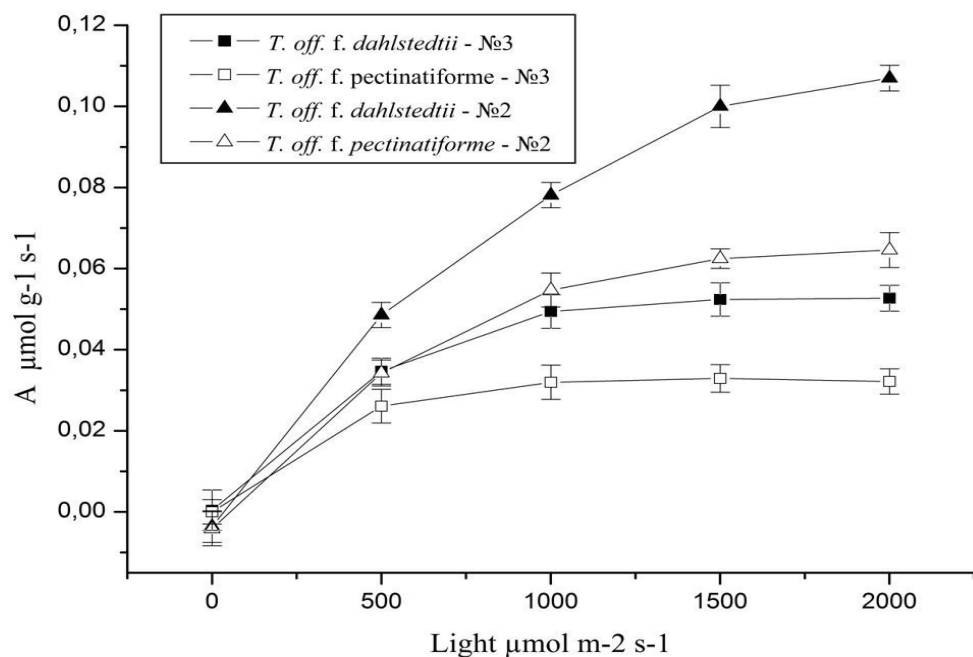


Рисунок 1. Зависимость интенсивности ассимиляции CO_2 (A) (в расчете на г сырого веса листьев) от освещенности.

Можно предположить, что большее количество энергии, получаемое и расходуемое *T. off. f. dahlstedtii* на жизнедеятельность позволяет растениям эффективнее адаптироваться к сильному загрязнению.

При подготовке семян к проращиванию было замечено различие в интенсивности окраски семенной оболочки. Это различие нашло отражение в энергии прорастания семян разделенных по принципу окраски семенной оболочки (таблица 1).

Таблица 1. Энергия прорастания семян (в %, среднее \pm SD, n=6) морфологических форм одуванчика лекарственного q_1 исследуемых популяций.

Популяции	<i>T. off. f. pectinatiforme</i>		<i>T. off. f. dahlstedtii</i>	
	без пигмента	норма	без пигмента	норма
№1-Усады	51 \pm 7	62 \pm 6	62 \pm 6	77 \pm 5
№2-Татарстан	33 \pm 6	36 \pm 11,5	50 \pm 9,8	50 \pm 11
№3-Горьковское шоссе	3,3 \pm 1,3	20 \pm 5,8	15 \pm 8,5	58 \pm 11,3
$R^2(p)$	0.938 (**)	0.788 (**)	0.854 (**)	0.212 (*)

Примечание: * - $p < 0.005$; ** - $p < 0.0001$.

С ростом загрязненности энергия прорастания снижается. Для нормально окрашенных семян *T. off. f. dahlstedtii* зависимость не столь очевидна.

Проведенные исследования показывают, что высокий уровень фотосинтетической активности *T. off. f. dahlstedtii* позволяет им сохранять более высокое качество семенного потомства.

Литература

1. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.
2. Стволинская Н.С. Жизнеспособность *Taraxacum officinale* Wigg. в популяциях города Москвы в связи с автотранспортным загрязнением // Экология. – 2000. – №2. – С. 147-150.
3. Никольский В.И. Одуванчик как возможный объект фенотипического мониторинга природных экосистем // Проблемы устойчивости биологических систем. Тез. докл. Всесоюзной школы. – Харьков, 1990. – С. 99-101.
4. Савинов А.Б. Анализ фенотипической изменчивости одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.) из биотопов с разными уровнями техногенного загрязнения // Экология. – 1998. – № 5. – С. 362–365.
5. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.

ДИНАМИКА ЛЕКТИНОВОЙ АКТИВНОСТИ В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПАТОГЕНЕЗЕ

Р.Р.Хусаинова, Г.Х. Шаймуллина, Ю.Ю.Невмержицкая

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

В связи с изучением механизмов защиты растений от фитопатогенов особое внимание уделяют низкомолекулярным белкам лектинам. Анализ литературных данных указывает на участие этих белков в распознавании патогенных микроорганизмов и формировании защитных механизмов растения в связи с их способностью специфически взаимодействовать с углеводными структурами поверхности клеток фитопатогенов, что приводит к несовместимому или совместимому взаимодействию организмов.

Межклеточное узнавание, очевидно, является первым этапом взаимоотношения растения-хозяина и микроорганизма, и роль рецепторов в распознавании чужеродных инфекционных структур могут выполнять лектины, связанные с клеточной стенкой [1]. Существует немало данных о вовлечении в формирование защитных реакций растений и так называемых классических лектинов, которые способны связываться со спорами патогенных грибов и другими инфекционными структурами патогенов и вследствие этого подавлять их рост и развитие [2].

Поскольку одним из признаков активной реакции растений на инфицирование является количественное изменение содержания или активности белков, цель нашей работы заключалась в определении влияния инфицирования растений пшеницы на динамику активности лектиновых белков в проростках яровой пшеницы.

Объектом исследования служили 7-10 – суточные проростки яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская 33. Растения пшеницы выращивали в лабораторных условиях в кюветах на водопроводной воде при освещенности 100 Вт/м² и 12-часовом фотопериоде. Семена перед посевом стерилизовали 2%-ным перманганатом калия (15 минут) и промывали стерильной дистиллированной водой. Инфицирование проводили специфическим для растений пшеницы фитопатогеном *Fusarium spp.* и неспецифическим – *Aspergillus niger*. Для этого семисуточные проростки опытного варианта в течение часа выдерживали в водном растворе со спорами грибов с исходным титром $(1-3) \cdot 10^4$ КОЕ/см³. Начальный уровень активности белков определяли через 1 час после инокуляции, последующие образцы отбирали через каждые сутки (на протяжении 4 суток). Выделяли две фракции лектинов: растворимые и связанные с клеточной стенкой.

На рисунках 1-4 представлены результаты экспериментов по исследованию влияния *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr. и *Aspergillus niger* на активность растворимых и связанных с клеточной стенкой лектинов в проростках яровой пшеницы Омская 33.

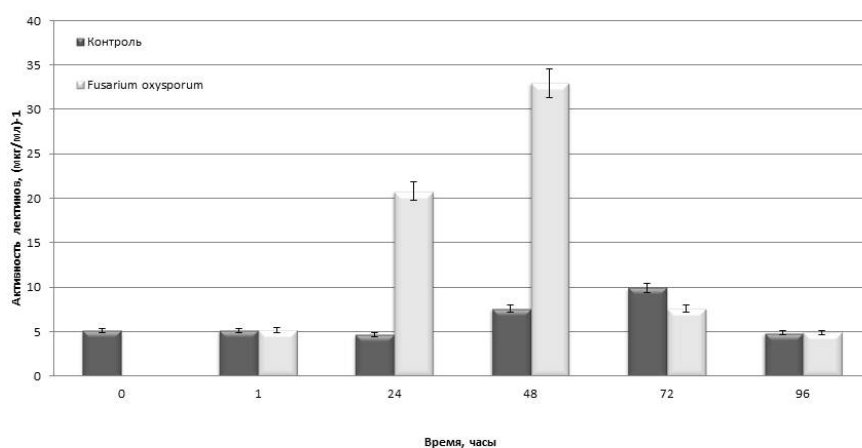


Рисунок 1. Динамика активности растворимых лектинов яровой пшеницы сорта Омская 33 при инфицировании специфическим фитопатогенным грибом *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr.

В экспериментах с инфицированием проростков специфическим фитопатогеном активность растворимых лектинов значительно возрастала через 24 и 48 ч. Через 96 ч (4 суток) после обработки растений спорами

Fusarium spp. активность растворимых лектинов уменьшалась до уровня контрольных растений.

Напротив, в варианте с *Aspergillus niger* мы наблюдали значительное повышение активности растворимых лектинов по сравнению с контролем уже через час после обработки растений спорами патогена. В течение всего последующего эксперимента происходило постепенное снижение активности этих белков, которое к 4 суткам достигло уровня контрольных растений.

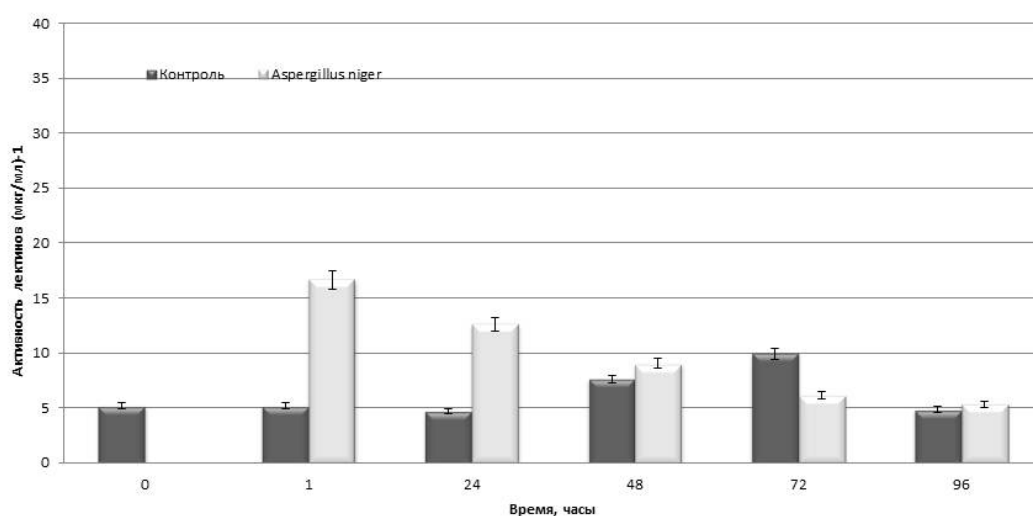


Рисунок 2. Динамика активности растворимых лектинов яровой пшеницы сорта Омская 33 при инфицировании неспецифическим фитопатогенным грибом *Aspergillus niger*.

Согласно сведениям литературы, в растениях пшеницы имеется пул запасных форм лектиновых мРНК [3], что, вероятно, и обеспечивает быстрое возрастание лектиновой активности за счет синтеза *de novo* белка и мРНК на ранних этапах инфицирования неспецифическим возбудителем *Aspergillus niger*. С другой стороны известно, что супрессоры гриба, угнетающие устойчивость растений к инфицированию, подавляют защитную биосинтетическую активность поврежденных тканей [4]. Показано, что действие супрессоров направлено на ингибирование новообразования белка [4]. В связи с этим можно предположить, что подобное ингибирование новообразования защитных белков может происходить либо на уровне транскрипции, либо на уровне сигнальных систем, активирующих транскрипцию. Именно этим можно объяснить отсутствие изменений в

активности растворимых лектинов через 1 час после инфицирования проростков специфическим фитопатогенным *Fusarium spp.* Последующее увеличение активности растворимых лектинов, по-видимому, обусловлено включением других сигнальных систем, активирующих защитные механизмы, в том числе и преодолением супрессорного действия специфического фитопатогена [5].

Изменения активности лектинов клеточной стенки после воздействия специфического и неспецифического фитопатогена носили сходный характер: активность этих белков значительно выросла через 3 суток инкубации в растворе спор и начала снижаться к 4 суткам (рисунок 3, 4).

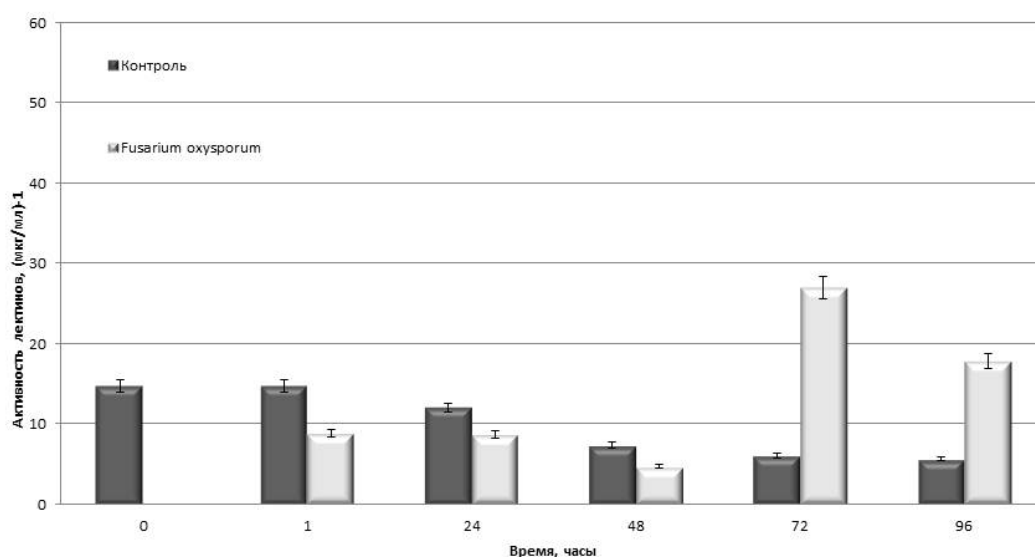


Рисунок 3. Динамика активности лектинов клеточной стенки яровой пшеницы сорта Омская 33 при инфицировании специфическим фитопатогенным грибом *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr.

При этом ответная реакция растений на действие неспецифического фитопатогена была выражена сильнее, по сравнению с реакцией на специфический возбудитель. В литературе накоплено достаточное количество сведений, подтверждающих, что накопление лектинов тесно связано с индукцией устойчивого состояния растения-хозяина. Однако повышение содержания лектинов наблюдается и при инфицировании восприимчивых растений. Динамика содержания лектинов, по-видимому, имеет транзитный пик и более поздние и длительные количественные изменения. При этом, если первый в большинстве случаев коррелирует с устойчивостью растения, поздние

изменения отражают симптомы болезни, т.е. коррелируют с восприимчивостью.

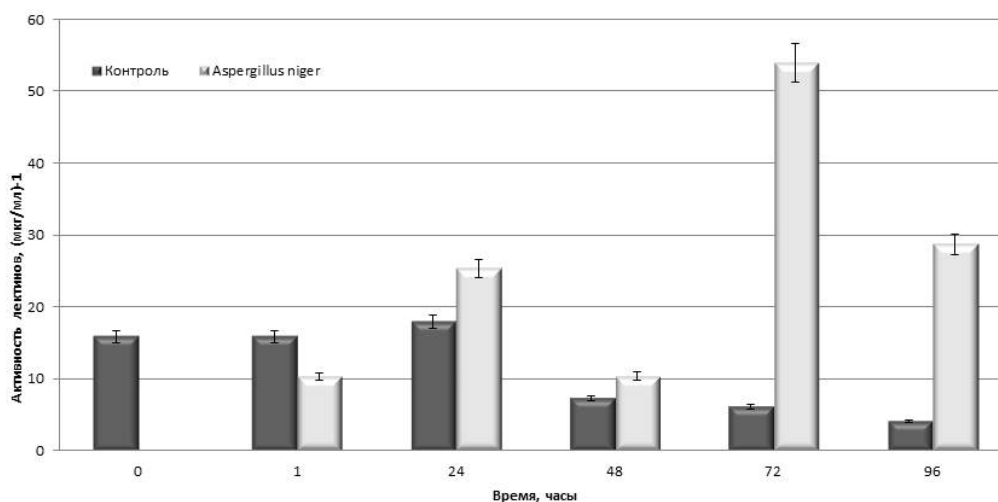


Рисунок 4. Динамика активности лектинов клеточной стенки яровой пшеницы сорта Омская 33 при инфицировании неспецифическим фитопатогенным грибом *Aspergillus niger*.

Литература

1. Toyoda K., Miki K., Ychinose Y [et al.] // Plant Cell Physiol. – 1995. – V. 35, №5. – P. 799-807.
2. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. - Уфа: Гилем, 2001. – 159 с.
3. Yamamoto H. Tani T., Naito N. Changes in protein contents of oat leaves during the resistant reaction against Puccinia coronate avenae // Phytopathology.- 1975.- 82, N 2.- P. 138-145.
4. Medvedeva T.E., Chalenco G.L., Vasyukova N.I., Ozeretskorskaya O.L. Influence of suppressor of the potato late blight causal agent on wounding reparation of potato tubers// Dokl. Akad. Nauk SSSR.- 1985.-280, N 3.- P. 764-767.
5. Белава В.Н., Зеленый С.Б., Панюта О.А. Экспрессия генов лектина и дефенсина у сортов пшеницы Мироновская 808 и Roazon при инфицировании *Pseudocercospora herpotrichoides* // Biopolimers and Cell -2010.-Vol 26, №1.- С. 45-50.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Э.И. Хусаинова, Й.Р. Абдрахимова

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Казань

Одной из важнейших задач современной медицины является профилактика и коррекция последствий загрязнения окружающей среды для человека. Эта проблема, помимо возрастания естественного фона радиации, находится в тесной связи с постоянным поступлением в окружающую среду отходов промышленных производств и применяемых в сельском хозяйстве химикатов [1]. Аэробные организмы сталкиваются с постоянной опасностью: многие процессы, в которых участвует молекулярный кислород, сопровождаются образованием так называемых активных форм кислорода (АФК). Если растения и животные образуют АФК в процессе нормальной жизнедеятельности и при этом остаются живыми, значит, они контролируют их содержание, избегая накопления опасных молекул [2]. Поскольку исключить контакт человека с оксидантными факторами практически невозможно, важное значение приобретает поиск природных антиоксидантов, способных предотвратить повреждающее действие активных форм кислорода (АФК) [3]. Перспективность использования растительных препаратов в медицине обусловлена также возможной минимизацией их токсических эффектов у млекопитающих, что объясняется сходным химическим составом биологически активных веществ живых организмов, а также определенным сродством метаболизма растительной и животной клетки [4]. С данной точки зрения интерес представляет чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), из которого получены десятки галеновых, неогаленовых и полусинтетических препаратов. В большинстве изданий по лекарственным растениям по чистотелу приводятся данные по качественному составу алкалоидов, согласно которым число алкалоидов, включая минорные, доходит до 28 [5]. Ранее было показана выраженная антимуtagenные и антигенотоксичные эффекты экстрактов из *Chelidonium majus* L., а также мать-и-мачехи обыкновенной (*Tussilago farfara* L.) [6].

В связи с этим целью настоящей работы являлась сравнительная оценка антиоксидантной активности (АОА) вытяжек из растений мать-и-мачехи обыкновенной (*Tussilago farfara* L.), цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) и чистотела большого (*Chelidonium majus* L.).

Материалы и методы

В работе использовали водный экстракт и сок лекарственного растения чистотела большого (*Ch. majus* L.), водный экстракт и сок цикория обыкновенного (*C. intybus* L.), водный экстракт мать-и-мачехи обыкновенной (*T. farfara* L.). Соки растений разводили стерильной дистиллированной водой до концентрации 1:10, 1:100, 1:1000. Определение антиоксидантной активности проводили на спектрофотометре ПЭ-5300 ВИ («Экрес») при длине волны 517

нм приводили с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида (ДФПГ) по методу, описанному в работе [7]. Основным показателем, характеризующим антирадикальную активность по данному методу, является EC_{50} – концентрация экстракта антиоксиданта, при которой наблюдается 50%-ное ингибирование радикалов ДФПГ.

Результаты и обсуждения

Данные по определению антиоксидантной активности водных экстрактов растений чистотела (*Chelidonium majus* L.), мать-и-мачехи (*Tussilago farfara* L.), цикория (*Cichorium intybus* L.) представлены на рисунке 1. При добавлении водных экстрактов к раствору ДФПГ мы наблюдали снижение оптической плотности. Самое заметное снижение его оптической плотности происходило при добавлении экстракта растений чистотела, антиоксидантная активность составила 67% и 92%, 73%, для разведений соответственно. Следует отметить, что наивысшую АОО показали водные экстракты исследуемых растений, в основном разведенные в 10 раз.

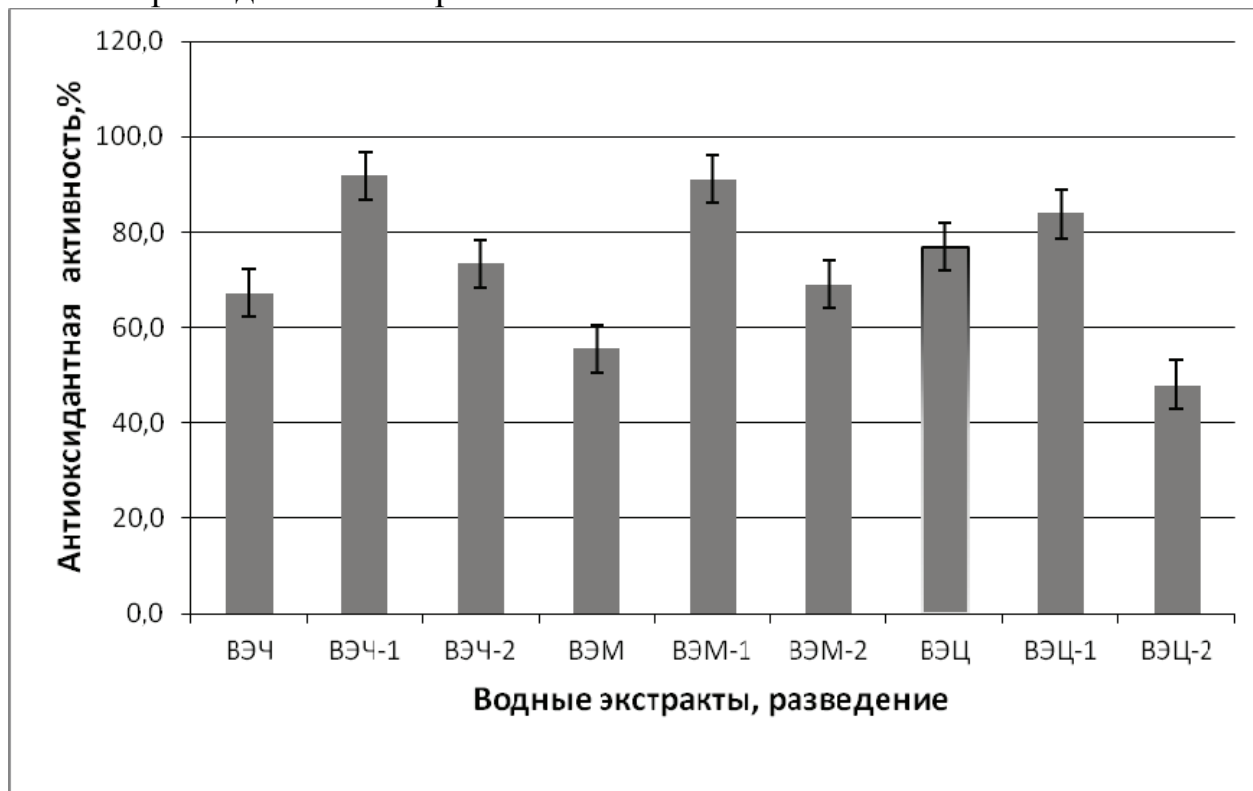


Рисунок 1. Антиоксидантная активность водных экстрактов растений чистотела (*Chelidonium majus* L.), мать-и-мачехи (*Tussilago farfara* L.), цикория (*Cichorium intybus* L.): ВЭЧ - водный экстракт чистотела, ВЭЧ⁻¹ - водный экстракт чистотела (разведение 1:10), ВЭЧ⁻² - водный экстракт чистотела (разведение 1:100); ВЭМ - водный экстракт мать-и-мачехи, ВЭМ⁻¹ - водный экстракт мать-и-мачехи (разведение 1:10), ВЭМ⁻² - водный экстракт мать-и-мачехи (разведение 1:100); ВЭЦ - водный экстракт цикория, ВЭЦ⁻¹ - водный экстракт цикория (разведение 1:10), ВЭЦ⁻² - водный экстракт цикория (разведение 1:100).

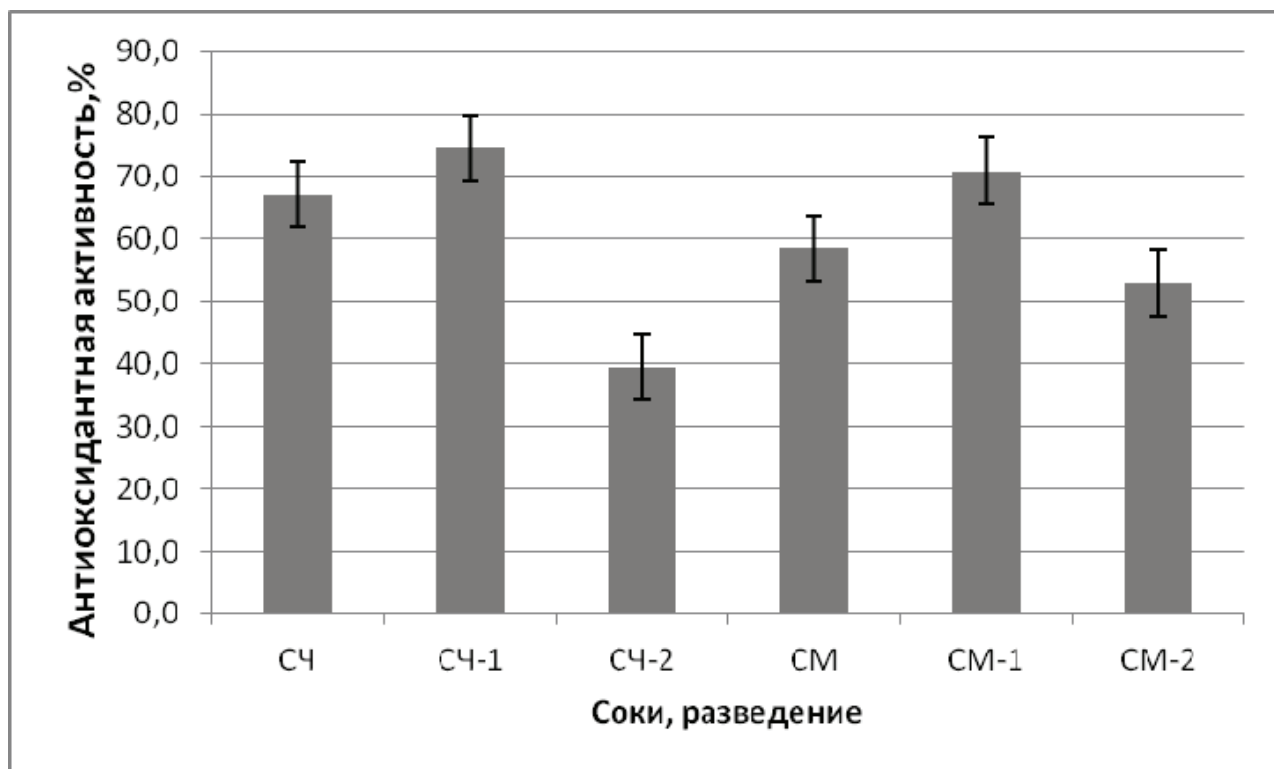


Рисунок 2. Антиоксидантная активность соков растений чистотела (*Chelidonium majus* L.), мать-и-мачехи (*Tussilago farfara* L.). СЧ – сок чистотела, СЧ¹ - сок чистотела (разведение 1:10), СЧ² - сок чистотела (разведение 1:100); СМ - сок мать-и-мачехи, СМ¹ - сок мать-и-мачехи (разведение 1:10), СМ² - сок мать-и-мачехи (разведение 1:100).

Наиболее активным по ингибированиюДФПГ радикала оказался сок растений чистотела без разведения. АОА (СЧ), составила 67% (рис 2). Интересно отметить, что также как и в случае водных экстрактов, самую высокую АОА показали соки как чистотела, так и мать-и-мачехи в разведении 1:10.

Выводы

1. Освоен новый метод определения общей антиоксидантной активности с использованием стабильного хромоген-радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила, позволяющий провести количественную оценку антирадикального потенциала лекарственных растений.
2. Выявлена высокая степень антиоксидантной активности водных экстрактов листьев чистотела большого *Chelidonium majus* L., листьев мать-и-мачехи *Tussilago farfara* L. и корней цикория обыкновенного *Cichorium intybus* L. Показано, что соки *Chelidonium majus* и *Tussilago farfara* проявляли прооксидантное действие в случае использования без разведения и антирадикальную активность при разведениях 1:10 и 1:100.

Литература

1. Ефимов С.Н., Семенов А.Г., Стахеев Д.Л. Изучение антимутагенной активности природных биологически активных веществ околоплодника

- гречихи посевной / Современные проблемы фундаментальной и клинической медицины: Сборник статей молодых ученых и студентов результаты 60-ой юбилейной конференции им. Н.И. Пирогова. –Томск, 2001. – С. 131-132.
2. Алехина Н. Д., Балнокин Ю. В., Гавриленко В.Ф. [и др.]; под ред. Ермакова И.П. Физиология растений: Учебник для студ. вузов. – М.: Академия, 2005. – С. 258-267.
 3. Бариляк И. Р. Антимутагенные и генопротекторные свойства препаратов растительного происхождения // Цитология и генетика. –1994. –№3. – С. 3-17.
 4. Коломиец Н.Э., Ефимов С.Н. Антимутагенные свойства растений рода хвощ // Фармация. - 2005. – №5. – С. 31-32.
 5. Волощук Т.П., Потопольский А.И. Об алкалоидном составе семян чистотела большого // Фундаментальные исследования. – 2010. – Научный журнал ISSN 1812-7339. – С. 79.
 6. Карамова Н.С., Фатыхова Д.Г., Абдрахимова Й.Р. Исследование антигенотоксических свойств соков растений *Chelidonium majus* L., *Plantago major* L., *Tussilago farfara* L. – Экологическая генетика. – Казань. – 2010. – Т8. –С. 56-59.
 7. *Wojdylo A., Oszmianski J., Czemerys R.* Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs // *Food Chemistry*. – 2007. – V. 105. N3. – P. 940-949.

СТРУКТУРА И АКТИВНОСТЬ СТРЕСС-ИНДУЦИРУЕМЫХ ГЕНОВ АПОПЛАСТНЫХ ПЕРОКСИДАЗ ПШЕНИЦЫ

Л.И.Шарифуллина, Ф.В.Минибаева

*ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань
ФГБУН КИББ КНЦ РАН, г.Казань*

Мощными редокс-ферментами апопласта являются пероксидазы III класса - мультифункциональные ферменты, которые катализируют окисление различных электрон-донорных субстратов за счет разложения перекиси водорода до воды. Пероксидазы играют важную роль в регуляции роста клеток растяжением, генерации активных форм кислорода (АФК), формировании устойчивости к разным биотическим и абиотическим стрессовым факторам и защите клеток при окислительном стрессе [1]. Функционирование их в про- и антиоксидантном режимах, множественность пероксидазных генов и посттрансляционные модификации обусловили ключевую роль этих ферментов в контроле редокс-статуса в клетках растений. Однако вовлечение специфичных изоформ пероксидаз в стрессовые ответы растительных клеток, регуляция транскрипции их генов остается неясной. В связи с этим, цель

работы заключалась в изучении структуры и активности генов апопластных пероксидаз в корнях пшеницы.

В качестве объекта исследования были использованы 4-дневные проростки яровой пшеницы сорта Казанская Юбилейная (*Triticum aestivum* L.). Биоинформатический анализ был проведен с использованием баз данных NCBI, PlantCARE и программы Vector. Уровень относительной экспрессии генов определяли с помощью амплификатора DNA Engine thermocycler (Bio-Rad), в качестве референтного был использован ген фактора АДФ-рибозилирования Ta2291 [2].

Ранее в нашей лаборатории было установлено, что в корнях проростков пшеницы при раневом стрессе наибольшую активность проявляет изоформа апопластной пероксидазы с молекулярной массой 37 кДа [3]. Аминокислотную последовательность пероксидазы 37 кДа мы использовали для поиска генов, кодирующих этот белок, с помощью базы данных NCBI. В результате поиска был выявлен ген X53675, биоинформатический анализ которого показал наличие в его структуре трех экзонов и двух интронов с консервативной парой нуклеотидов GU/AG. С помощью базы данных NCBI нами была обнаружена нуклеотидная последовательность промоторной области этого гена размером 1300 п.н. Эта информация была использована для поиска *cis*-элементов с помощью базы данных PlantCARE. В ходе нашего исследования были обнаружены *cis*-элементы, ответственные за чувствительность к жасмоновой (TGACG-motif и CGTCA-motif) и абсцизовой (ABRE) кислотам, недостатку кислорода (ARE), засухе (MBS). Кроме того, обращает на себя внимание наличие 12 *cis*-элементов, восприимчивых к свету. Кроме того, нами выявлены *cis*-элементы, контролирующие образование меристемы (CAT-box) и эндосперма (Skn-1_motif) и регулирующие клеточный цикл (MSA-like) и циркадные ритмы (Circadian). Полученная информация позволяет нам заключить, что благодаря определенным последовательностям промотора пероксидаза 37 кДа регулирует жизнедеятельность растения, обеспечивая защитные механизмы при воздействии стрессора, а также контролируя рост и развитие. С целью изучения вовлечения обнаруженных *cis*-элементов в экспрессию генов нами были проведены эксперименты по анализу уровня экспрессии генов пероксидаз 37 кДа при действии на проростки пшеницы стрессовых факторов, в частности жасмоновой кислоты и световых условий. Было обнаружено, что обработка корней проростков пшеницы 0,1 мМ жасмоновой кислотой в течение 12 ч непосредственно перед выделением мРНК приводит к незначительному понижению уровня экспрессии генов пероксидаз 37 кДа (Рис. 1).

В литературе имеются данные об изменении экспрессии генов пероксидаз пшеницы при действии жасмоновой кислоты. Например, у диплоидной пшеницы (*T. monosocum*) для выяснения сигнальных путей и молекул, участвующих в регуляции экспрессии генов при действии патогена, изучалось влияние метилжасмоната на транскрипцию генов пероксидаз TmPRX. При действии на растения этого гормона в течение 6-24 ч был обнаружен

высокий уровень экспрессии генов TmPRX1 и TmPRX10, однако экспрессия генов пероксидаз TmPRX4 и TmPRX7 была подавлена, что свидетельствует о сложных и не до конца изученных механизмах регуляции активности пероксидаз [4]. Кроме того, показано, что у катарантуса розового экспрессия генов пероксидаз *CrPrx* в условиях стресса также находится под контролем жасмонат-зависимого сигнального механизма [5]. До настоящего времени не установлен однозначный механизм действия жасмоновой кислоты на активность генов пероксидаз. Полученные нами данные о незначительном уменьшении экспрессии генов пероксидазы 37 кДа при действии жасмоновой кислоты, вероятно, свидетельствуют о подавлении *cis*-элементами активности изучаемого гена.

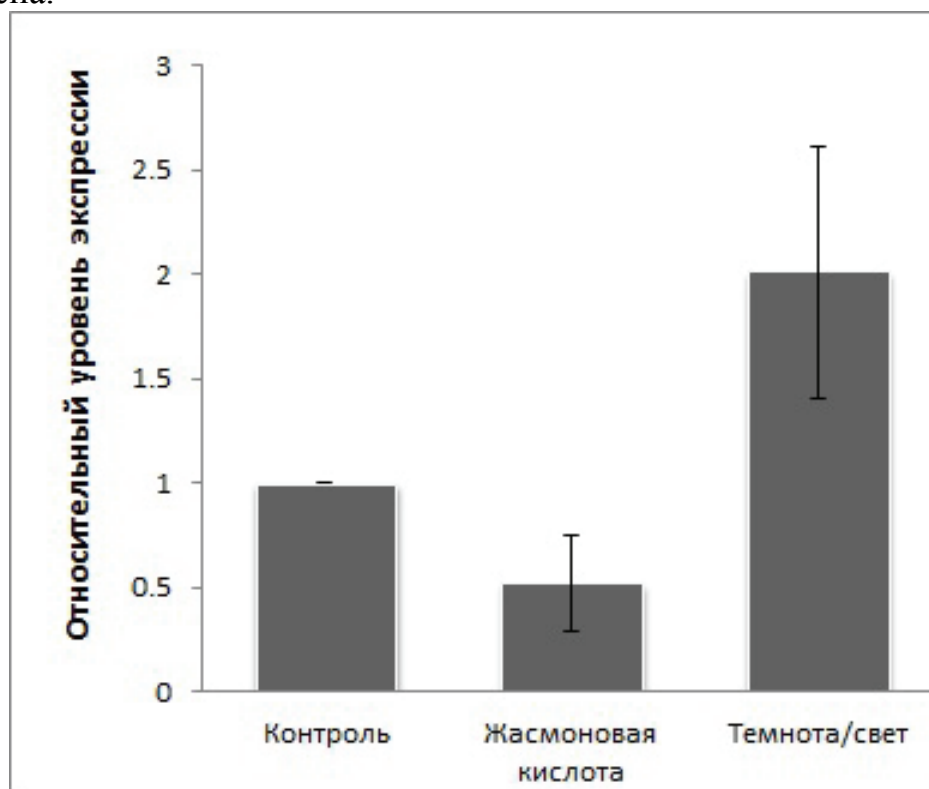


Рисунок 1. Экспрессия генов пероксидаз 37 кДа в корнях при обработке проростков 0,1 мМ жасмоновой кислотой и действии темноты/света.

В связи с тем, что корни являются подземным органом растения, световое воздействие является стрессорным для корней. Мы предположили, что смена световых режимов темнота/свет может оказать влияние на экспрессию генов пероксидаз. В наших экспериментах при выдерживании 4-дневных проростков пшеницы в темноте в течение 24 ч и их последующем перемещении на свет в течение 1 ч наблюдалось увеличение экспрессии генов пероксидазы 37 кДа в два раза (Рис. 1). Мы полагаем, что наличие и функционирование в промоторе двенадцати *cis*-элементов, восприимчивых к свету, объясняет обнаруженный нами эффект. В литературе имеются данные о повышении содержания и активности пероксидаз на корнях пшеницы при действии света, что является одним из механизмов поддержания окислительного гомеостаза [6].

Таким образом, гены пероксидаз пшеницы характеризуются сложной структурой, которая проявляется в наличии специфических *cis*-элементов промотора, которые влияют на экспрессию генов при различных воздействиях. Эта особенность обуславливает высокую активность генов пероксидаз пшеницы и способствует проявлению функций этого фермента в защитных реакциях растений.

Литература

1. Cosio C., Dunand C. Specific functions of individual class III peroxidase genes // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 60. – P. 391–408.
2. Paolacci A., Tanzarella O., Porceddu E. Identification and validation of reference genes for quantitative RT-PCR normalization in wheat // BMC Mol. Biol. – 2009. – V. 10. – P. 11.
3. Minibayeva F., Kolesnikov O., Chasov A. et al. Wound-induced apoplastic peroxidase activities: their roles in the production and detoxification of reactive oxygen species // Plant, Cell and Environment. – 2009. – V. 32. – P. 497–508.
4. Liu G., Sheng X., Greenshields D.L. Profiling of Wheat Class III Peroxidase genes derived from powdery mildew-attacked epidermis reveals distinct sequence-associated expression patterns // MPMI. – 2005. – V. 18. – P. 730–741.
5. Kumar S., Dutta A., Sinha K. Cloning, characterization and localization of a novel basic peroxidase gene from *Catharanthus roseus* // FEBS Journal. – 2008. – V. 274. – P. 1290–1303.
6. Томилин М.В., Олюнина Л.Н., Веселов А.П. Светозависимые изменения генерации пероксида водорода и активности пероксидаз проростков // Журнал стресс-физиологии и биохимии. – 2011. – Т. 7, №1. – С. 6–12.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ХЛОРОПЛАСТАХ ГОРОХА

Корнилова Ю.В. Середнева Я.В.

ННГУ им Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород.

Переменные магнитные поля – неотъемлемая часть антропогенной среды. Механизм действия постоянных и переменных низкочастотных полей часто связывают с изменениями, происходящими в мембранном аппарате клетки под их влиянием. Имеются сообщения, что обработка слабым магнитным полем (МП) может иметь корректирующее послестрессовое воздействие, заключающееся в восстановлении им физиологических процессов, нарушенных стрессовыми факторами [1]. Целью работы было исследование изменений в фотосинтетических процессах при воздействии на растения переменного магнитного поля и гипертермии.

Материалы и методы

Объектом исследования служили двухнедельные растения гороха *Pisum sativum* L., сорта «Альбумен», выращенные в климатической камере KBM-240, при температуре +23°C и 16-часовом световом периоде. Для генерации импульсного магнитного поля (ИМП) использовалась магнитотерапевтическая VL-2 установка (поле создавалось пачками из 20 импульсов длительностью 227 мкс с амплитудой 1,5 мТл, следующих с частотой 15 Гц). Длительность обработки 30 мин. Контролем служили растения, выдержанные в условиях нормального геомагнитного поля.

Определение фотосинтетической активности проводили на целых растениях методом индукции флуоресценции хлорофилла (ИФХ) фотосистемы II и оценки поглощения света фотосистемой I с использованием импульсного флуориметра Dual-PAM-100 («HainzWalz», Германия). Лист помещали в измерительную головку для темновой адаптации в течение 10 мин, затем включали измерительный и актиничный свет, после чего - вспышки насыщающего света с частотой 10мс. Определяли квантовые выходы фотосистемы I (Y_I) и фотосистемы II (Y_{II}), а также рассчитывали для фотосистемы II (ФСII) – коэффициенты фотохимического q_P и нефотохимического q_N , NPQ тушения; для фотосистемы I (ФСI)-нефотохимическую диссипацию энергии, обусловленную ограниченностью донорной $Y(ND)$ или акцепторной $Y(NA)$ стороны. Скорость реакции Хилла выявляли по скорости восстановления феррицианида калия, хлоропласты выделяли методом дифференциального центрифугирования [2].

Результаты и их обсуждение.

Показано, что растения обработанные высокой температурой 42°C в течении 30 минут характеризовались такими же коэффициентами фотохимического тушения q_P и нефотохимического тушения q_N , NPQ, как и в контроле. При этом происходило некоторое снижение величины q_N . Таким образом, тепловое воздействие данной продолжительности мало влияло на электронный поток, но при этом снижало долю тепловой диссипации энергии в комплексах ФСII [3,4]. Магнитное поле вызывает более выраженные изменения, а именно, снижение показателя q_P и повышение коэффициентов q_N и NPQ. Можно предположить, что магнитное поле снижало эффективность перемещения электронов по ЭТЦ, что отражалось в увеличении доли теплового рассеивания энергии и повышении времени жизни восстановленного QA [5,6].

Состояние теплового шока мало изменяло работу ФСII, но несколько повышало эффективность работы ФСI. Увеличение показателя $Y(ND)$ -нефотохимической диссипации энергии, обусловленной ограниченностью донорной стороны ФСI указывало на некоторое ограничение на ее донорной стороне. Снижение показателя $Y(NA)$ нефотохимической диссипации энергии, обусловленной ограниченностью акцепторной стороны, говорило об активации работы ферредоксин-НАДФН-редуктазы [7]. Схожие изменения наблюдались при воздействии магнитного поля, но носили более выраженный характер.

В целом, гипертермия 42°C в течении 30 минут не вызывала больших изменений электронного потока в хлоропластах гороха. Изменения квантовых выходов Φ I и Φ II позволяют предположить о наличии замедлений в работе пула пластохинонов, которые более выраженные при обработке растения магнитным полем, чем гипертермией.[2] Магнитное поле замедляло работу Q цикла, вследствие чего и происходило снижение q_P и рост показателей q_N и $\Phi(ND)$.

Высокое сходство ответов на воздействие острой гипертермии и магнитного поля может говорить о наличии единого звена в механизмах клеточного ответа на эти воздействия, следовательно можно предположить защитный эффект предварительной обработки магнитным полем растений перед воздействием острой гипертермии. В связи с чем проводили исследования интенсивности фотохимических процессов на примере реакции Хилла с увеличением количества экспериментальных групп. 1) воздействие магнитного поля (МП; 30 мин), 2) воздействие гипертермии ($t=+42^\circ\text{C}$, 30 мин), 3) последовательная обработка гипертермией (30 мин) и МП (30 мин), 4) последовательная обработка МП (30 мин) и гипертермией (30 мин), 5) контроль - растения, находившиеся в условиях нормального геомагнитного поля и нормальной температуры (интактные).

Магнитное поле не вызывало существенных изменений скорости реакции Хилла у растений, выращенных в условиях нормальной температуры (табл.1). Острая гипертермия приводила к снижению скорости реакции Хилла. Корректирующего эффекта МП у растений после действия гипертермии не обнаружено: скорость реакции Хилла оставалась пониженной. Снижение реакции Хилла говорит о подавлении фотосинтетической активности фотосистемы II. Предварительная обработка растений магнитным полем перед воздействием гипертермии давала некоторую тенденцию к повышению скорости реакции Хилла, но полного ее возвращения к норме не происходило. Можно предположить, что переменное магнитное поле не влияло на работу водоокисляющего комплекса, характеристикой которой и является скорость реакции Хилла, в то время, как гипертермия ингибировала его.

Таблица 1. Скорость реакции Хилла в растениях гороха после различных внешних воздействий

Варианты опыта	мг $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ / мг хл*ч
Контроль (интактные растения)	$63.116 \pm 1,117$
Растения, обработанные МП	$66.002 \pm 0,982$
Растения, обработанные гипертермией	$43.219 \pm 1,186^*$
Растения, обработанные последовательно гипертермией и МП	$47.341 \pm 1,177^*$
Растения последовательно обработанные МП и гипертермией	$52.675 \pm 0,882^*$

* $p \leq 0,05$ относительно контроля

В целом, исследованное слабое переменное магнитное поле и краткосрочная гипертермия вызывали схожие возмущения в работе фотосистем и электронного потока, что позволяет предположить общность в механизмах реализации их эффектов в клетках растений. Вероятно, с этим связано небольшое защитное действие на скорость реакции Хилла, обнаруженное в случае предварительной обработки растений переменным магнитным полем перед последующей гипертермией.

Литература

1. Yao Yinan, Li Yuan, Yang Yongqing, Li Chunyang. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation // *Environmental and Experimental Botany*, -2005. Vol. 54. P. 286–294
2. Большой практикум по фотосинтезу: учеб пособие для студ. вузов /В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова, под ред. И.П. Ермакова. – М. Издательский центр «Академия», 2003. 160 с.
3. Bilger W., Schreiber U. Energy-dependent quenching of dark-level chlorophyll fluorescence in intact leaves // *Photosynth. Res.* 1986.-Vol.10.-P.303-308.
4. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. - Киев: Альтерпресс, 2002. 188с.
5. Schreiber U., Klughammer C. Nonphotochemical fluorescence quenching and quantum yields in PS I and PS II: Analysis of heat-induced limitations using Maxi-Imaging-PAM and Dual-PAM-100 // *Application Notes*. - 2008. V. 1. P. 15-18.
6. Schreiber U., Schliwa U., Bilger, W. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer // *Photosynth. Res.* -1986.-Vol.10, №1-2.- P.51-62.
7. Dietz K.-J., Schreiber U., Heber U. The relationship between the redox state of QA and photosynthesis in leaves at various carbon dioxide, oxygen and light regimes // *Planta*. -1985.-Vol.166.-P.219-226.

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГЕНА АПОПЛАСТНОЙ ИНВЕРТАЗЫ НА ОТТОК АССИМИЛЯТОВ И ОБРАЗОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ ФОТОСИНТЕЗА В РАЗНЫХ ОРГАНАХ У РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Мударисова Р.Т., Чиков В.И.

*ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань
КИББ КазНЦ РАН, г. Казань*

Значение внеклеточного (апопластного) фермента инвертазы для регуляции углеводного обмена и транспорта ассимилятов показано многими исследователями [1-3]. В случае повышения нитратного азотного питания

растений отношение меченых сахарозы/гексозы в апопласте увеличивается в 3-4 раза, в то время как в клетках мезофилла только на 20-25% [4]. Это существенно уменьшает отток сахарозы из листьев и повышает отношение массы листа/корни. Повышенный гидролиз сахарозы в апопласте приводит к возврату образующихся гексоз в клетки мезофилла, где они используются в синтетических процессах, стимулируя рост листьев.

В связи с этим появилось множество публикаций, посвященных этому ферменту [1, 5, 6]. Были получены и мутанты с измененной активностью апопластной инвертазы. Накопление в листьях крахмала и гексоз у трансформантов, обладающих повышенной инвертазной активностью в апопласте [7], указывало на торможение оттока сахарозы из листьев. Данные опытов, полученные на этих трансформантах, хорошо согласуются с идеей участия апопластной инвертазы в регуляции экспортной функции листа. Экспрессия дрожжевой инвертазы в апопласте трансгенных растений табака приводила к разрастанию тканей листьев и появлению гофрированности [8], что также свидетельствовало о торможении оттока ассимилятов из листьев.

Несмотря на то, что предположения о важной роли апопластной инвертазы в регуляции фотосинтеза и продуктивности растений высказываются уже достаточно давно [1], специальные исследования влияния процесса гидролиза сахаров в апопласте на фотосинтез и отток ассимилятов не проводились.

Целью данной работы было выяснение влияния дополнительно введенного гена апопластной инвертазы на транспорт ассимилятов и образование конечных продуктов фотосинтеза.

В качестве объектов исследования нами были использованы растения картофеля (*Solanum tuberosum* L., сорт Дезире), трансформированные вектором, несущим ген дрожжевой инвертазы (*inv*), который находится под контролем промотора пататина класса I (B-33) и содержит последовательность лидерного пептида ингибитора протеиназы II для обеспечения апопластной локализации фермента (далее □ B-33 тип растения). В качестве контроля использовали нетрансформированные растения картофеля сорта Дезире (далее □ ИСХ-тип). Растения были отобраны из коллекции клонов, полученных в результате совместной работы сотрудников Института молекулярной физиологии растений им. Макса Планка (г. Гольм, Германия) и Лаборатории роста и развития им. М.Х. Чайлахяна ИФР РАН.

Исследования проводились в условиях защищенного грунта на территории Татарского НИИСХ РАСХ. Пробирочные растения высаживались по 12 шт. на один ящик с грунтом и выращивались при пониженной освещенности (25% от полной солнечной) радиации. Всего высаживали по 48 растений каждого типа. Для получения необходимой освещенности при сохранении спектрального состава света участок плантации в марлевом изоляторе дополнительно был покрыт вторым слоем марли, в том числе и с боков. Все опыты проводили в 6 кратной биологической повторности. Полученные данные обрабатывали статистически [9].

Для измерения интенсивности фотосинтеза мы использовали радиоизотопный метод, который дает значения, очень близкие к истинной интенсивности фотосинтетической фиксации $^{14}\text{CO}_2$ [10]. После 2-минутного экспонирования в атмосфере $^{14}\text{CO}_2$ лист срезали и через 30 сек. после начала ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$ одновременно фиксировали кипящим 80 % этанолом. В гомогенизированных пробах определяли содержание ^{14}C на сцинтилляционном счетчике Tri-Carb ("PerkinElmer", США), которое соответствовало интенсивности ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$.

Для определения особенностей распределения ^{14}C -продуктов фотосинтеза по органам растения подкармливали $^{14}\text{CO}_2$ верхушечную пластинку листа среднего яруса и оставляли на сутки для ассимиляции углерода и распределение продуктов фотосинтеза по органам. Вся процедура была проведена в ясный день. Растения, предназначенные для изучения оттока ассимилятов, на следующий день расчленяли на части:

- 1) листовая пластинка-донор ^{14}C -ассимилятов;
- 2) оставшиеся листовые пластинки (не получавшие $^{14}\text{CO}_2$) листа-донора;
- 3) верхушка побега с ювенильными листьями;
- 4) стебель с листьями выше донорного листа;
- 5) стебель с листьями ниже донорного листа;
- 6) корни;
- 7) клубни.

Все части одновременно фиксировались кипящим 80 % этанолом. Зафиксированные пробы растирали с 60 %-ным этанолом и определяли их общую радиоактивность с помощью сцинтилляционного счетчика Tri-Carb (PerkinElmer, США).

Для выяснения соотношения включения ^{14}C во фракции высокомолекулярных веществ, просчитанные на радиоактивность пробы, разделяли по растворимости в различных растворителях. Сначала путем центрифугирования отделяли фракцию низкомолекулярных веществ, растворимых в воде и этаноле, куда, по-видимому, вошли и низкомолекулярные белки. Затем экстрагировали вещества растворимые в 0,1М КОН и Тритон X-100. Эти фракции оценивали как белки. Осадок обрабатывали амилазой (Sigma, США) в концентрации 1 мг/мл. Условия обработки подобраны с контролем на KI. После отделения надосадочной жидкости в ней определялась радиоактивность гидролизованного крахмала и осадка (целлюлоза и гемицеллюлозы). В иллюстрациях эта фракция обозначена как целлюлоза.

Все опыты с ^{14}C проводились в пятикратной биологической и двухкратной аналитической повторности. На диаграммах представлены среднеарифметические данные со стандартной ошибкой, полученные с использованием программы «t-test» и графопостроителя originPro 7.5 со встроенным статистическим анализом.

Как и ожидалось, у трансформированных дополнительной инвертазой, растений картофеля (В-33 тип) экспорт меченых ассимилятов оказался пониженным (рисунок 1) по сравнению с исходным (диким) типом картофеля

Дезире. Однако это различие было небольшим. Объяснить снижение фотосинтеза на 44% не представляется возможным. Конечно, данные, представленные на рисунке 1, не отражают истинную величину экспорта ассимилятов.

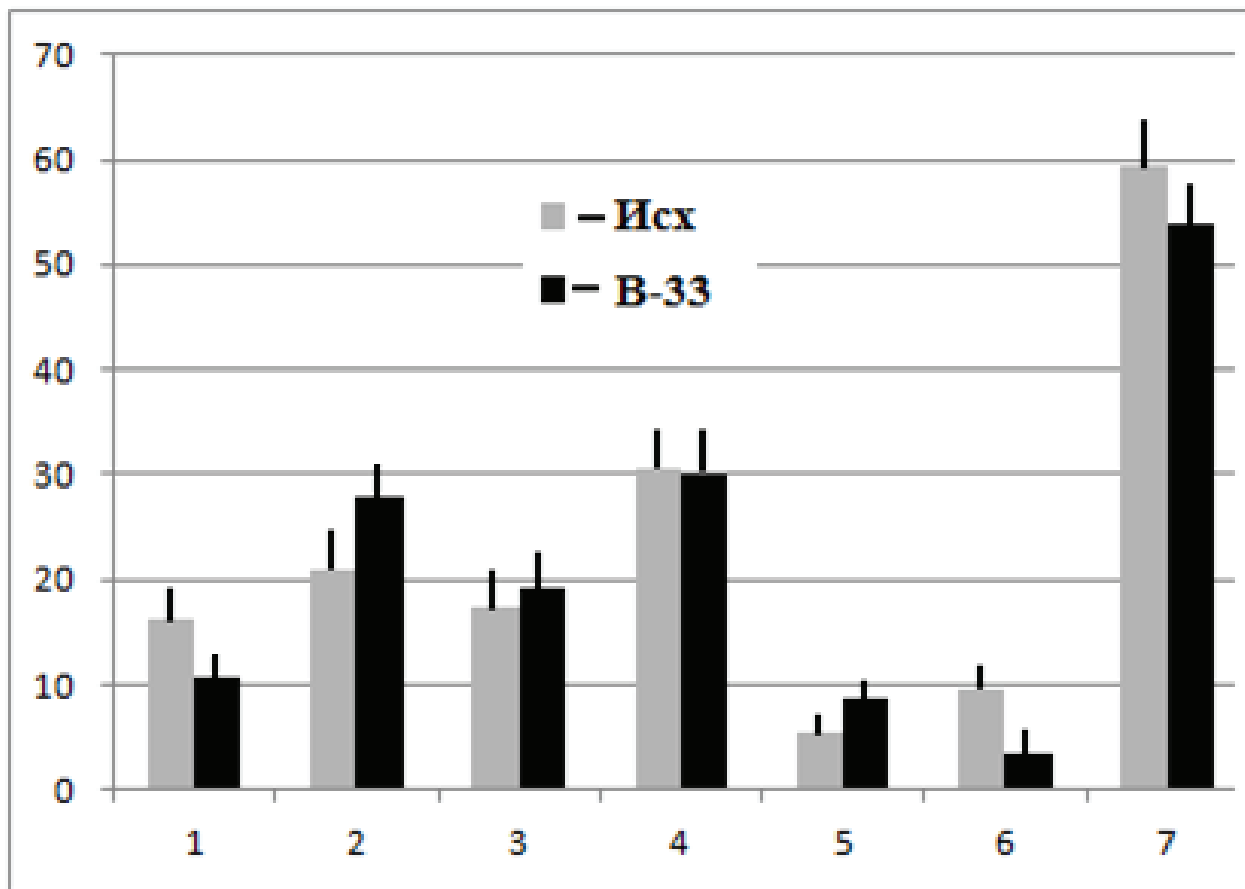


Рисунок 1. Отток и распределение ^{14}C -ассимилятов из листа-донора по растению картофеля Дезире (ИСХ-тип – нетрансформированный и В-33 тип с дополнительно введенным геном апопластной инвертазы). Содержание ^{14}C (в % от экспортированных меченых ассимилятов из листа-донора): 1 – в соседних листовых пластинках листа-донора; 2 – верхушка побега; 3 – побег выше листа-донора; 4 – побег ниже листа-донора; 5 – корни; 6 – клубни; 7 – экспортировано из листа-донора (в % от суммы радиоактивности всего растения).

Это только итоговое распределение ^{14}C -углерода среди разных органов через сутки после ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$. Не известно количество продуктов фотосинтеза израсходованных в ходе дыхания при их метаболизации и транспорте в органы-акцепторы. Тем не менее, у трансформированных растений меченых продуктов фотосинтеза осталось в листе-доноре меньше. Хорошо видно (рисунок 1), что меньше содержалось меченых продуктов фотосинтеза в соседних листовых пластинках того же листа среднего яруса, но не получавших непосредственно $^{14}\text{CO}_2$. Для этих листовых пластинок появившиеся меченые вещества являются «чужими» ассимилятами. Меньше поступило ассимилятов у трансформированных растений и в клубни. В то же

время в верхушку побега у этого типа растений транспортировалось меченых ассимилятов значительно больше.

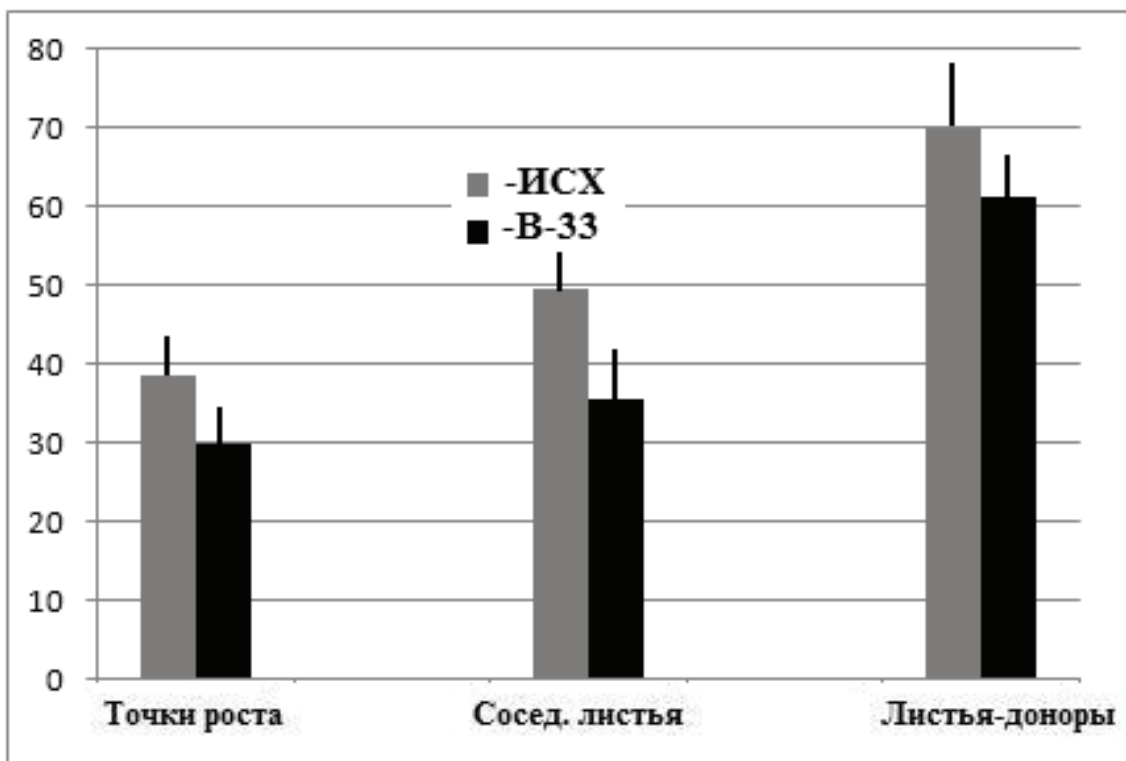


Рисунок 2. Содержание ^{14}C (% от суммарной радиоактивности пробы) в низкомолекулярных соединениях через сутки после ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$ верхушечной листовой пластинкой листа среднего яруса растений картофеля сорта Дезире (ИСХ – нетрансформированный и В-33 с дополнительно введенным геном апопластной инвертазы).

Было интересно оценить, в каких соединениях сосредотачивался ^{14}C в тканях этих органов. Анализ содержания ^{14}C во фракциях, разделенных по растворимости показал, что в низкомолекулярных веществах (спирто-водорастворимая фракция) во всех исследуемых органах (донорный лист, соседние листовые пластинки и верхушка побега) у трансформированных растений содержание меченого углерода было ниже, а в высокополимерных веществах выше (рисунок 2).

Определение содержания ^{14}C во фракциях различных веществ показал существенное различие между генетическими типами растений (рисунок 3). Независимо от анализируемого органа содержание ^{14}C во фракции извлекаемой щелочью и Тритонем Х100 (на рисунке 3 обозначены как «1» и «2») у трансформированных растений было больше. Менее выражено это было у соседних с ^{14}C -донором листовых пластинок. В то же время в полисахаридах (3 – крахмал и 4 – целлюлоза) содержание меченого углерода в органах акцепторах было меньше.

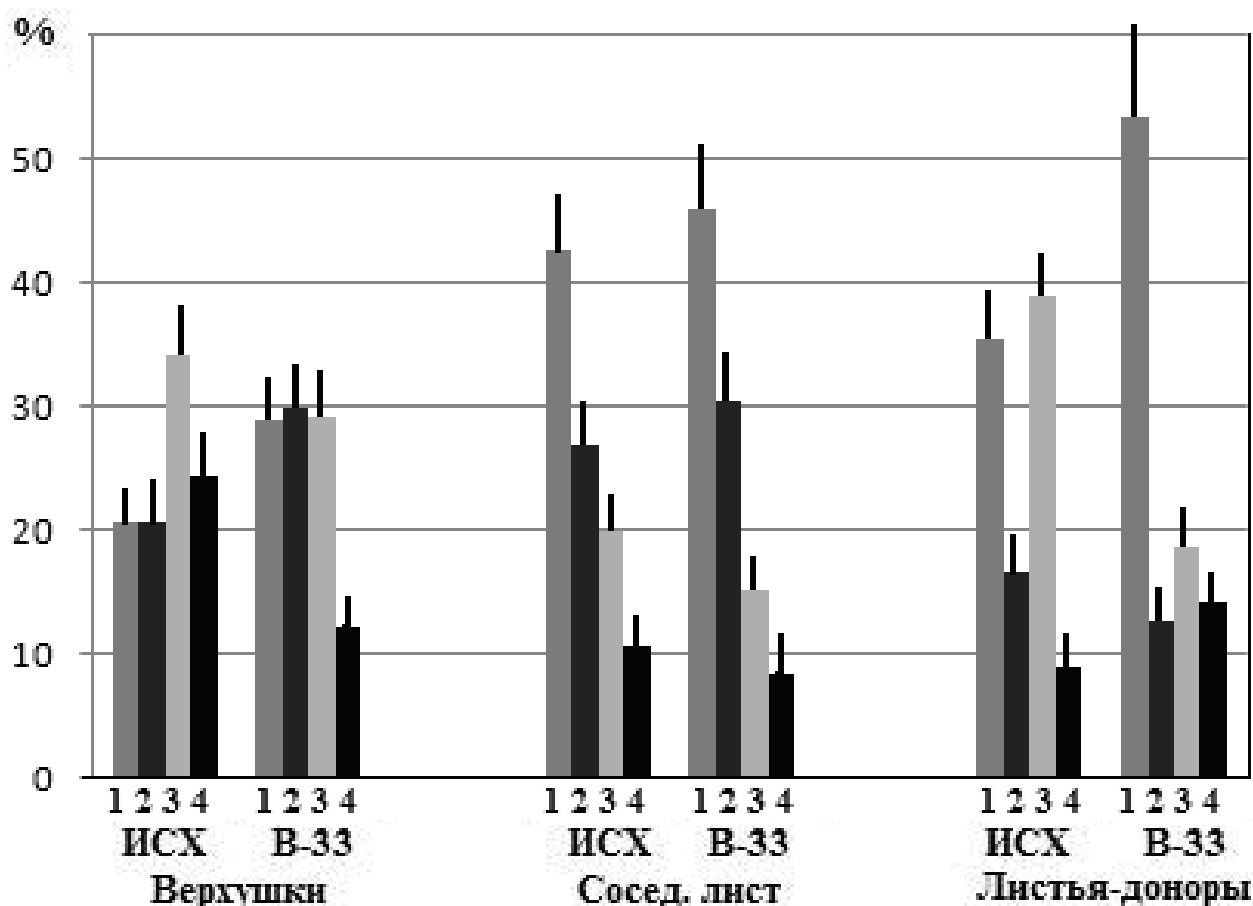


Рисунок 3. Распределение ^{14}C среди высокомолекулярных соединений в листьях донорах, верхушке и соседних листовых пластинках через сутки после ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$ верхушечной листовой пластинкой листа среднего яруса картофеля сорта Дезира (ИСХ – нетрансформированный и В-33 с дополнительно введенным геном апопластной инвертазы). 1 – щелочная фракция, 2 – фракция извлекаемая Тритон Х100, 3 – крахмал, 4 – целлюлоза.

В листе-доноре ^{14}C -ассимилятов под действием дополнительной инвертазы содержание ^{14}C в крахмале также было меньше, а в целлюлозе больше чем у исходного типа растений.

Последние данные указывают, что в листе-доноре ассимилятов под действием дополнительной инвертазы, возвращающиеся в фотосинтезирующую клетку после гидролиза сахарозы гексозы, дополнительно участвуют в синтезе целлюлозы, что согласуется с полученными ранее результатами, где было отмечено усиление в ходе фотосинтетического усвоения ^{14}C -углекислоты включения ^{14}C в олигосахара.

Можно утверждать, что введение дополнительного гена апопластной инвертазы снижает экспортную функцию листа, при этом происходит усиление транспорта меченых ассимилятов в верхнюю часть побега и снижается в клубни. У трансформированных инвертазой растений существенно меняется состав образующихся конечных продуктов фотосинтеза в органах-акцепторах ассимилятов — снижается содержание ^{14}C в низкомолекулярных веществах и полисахаридах, но усиливается образование белковых веществ. В органах-акцепторах «чужих» ассимилятов (включая и листья-завершившие

рост и выполняющих функцию доноров ассимилятов) значительно больше образуется сложных белков, чем в листе-доноре ^{14}C -ассимилятов.

Литература

1. Sturm A., Lienhard S., Schatt S. Tissue-specific expression of two genes for sucrose synthase in carrot (*Daucus carota* L.) // *Plant Mol Biol.* - 1999. – V. 39. – P. 349-360.
2. Чиков В.И., Бакирова Г.Г., Аввакумова Н. Эффективность использования азотных удобрений в сельском хозяйстве и возможности ее повышения // *Проблемы био- и мед-экологии республики Татарстан.* Казань. – 1998. – С. 294-304.
3. Чиков В.И. Эволюция представлений о связи фотосинтеза с продуктивностью растений // *Физиология растений.* – 2008. – Т. 55, №1. – С. 140-154.
4. Chikov V.I., Avvakumova N.Y., Bakirova G.G. Apoplastic Transport of ^{14}C -Photosynthates Measured under Drought and Nitrogen Supply // *Biol. Plant.* – 2001. – V. 44. – P. 517-521.
5. Дубинина И.М., Бураханова Е.А., Кудрявцева Л.Ф. Подавление активности инвертазы в культурах изолированных тканей сахарной свеклы // *Физиология растений.* – 1984. – Т. 31. – С. 153-161.
6. Tymowska-Lalanne Z., Kreis M. The plant invertases: physiology, biochemistry and molecular biology // *Adv Bot Res.* – 1998. – V. 28. – P. 71-117.
7. Синькевич М.С., Сабельникова Е.П., Дерябин А.Н. Динамика активности инвертаз и содержания сахаров при адаптации растений картофеля к гипотермии // *Физиология растений.* – 2008. – Т. 55. – С. 501-506.
8. Sonnewald U., Brauer M., von Schaewen A., Stitt M., Willmitzer L. Transgenic tobacco plants expressing yeast-derived invertase in either the cytosol, vacuole or apoplast: a powerful tool for studying sucrose metabolism and sink/source interactions // *Plant J.* 1991. V. 1. P. 95-106.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для вузов – М.: Высш. школа, – 1990. – С. 352.
10. Тарчевский И.А. Фотосинтез и засуха - Казань: Изд-во Казанского университета. – 1964. – 198 с.

АКТИВНОСТЬ ФИТОАГГЛЮТИНИНОВ У ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТЕВИОЗИДА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Г.И. Рамазанова, А.Л. Михайлов, Ю.Ю. Невмержицкая

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань

Наиболее опасными химическими загрязняющими веществами являются тяжелые металлы, которые поступают в биосферу благодаря промышленной

деятельности человека. Это приводит к постоянному росту числа земель сельскохозяйственного назначения с повышенным уровнем тяжелых металлов. В связи с этим актуальной задачей является разработка мероприятий, направленных на уменьшение токсического влияния поллютантов и их количества в растениях. В литературе обсуждается возможность модификации действия тяжелых металлов на культурные растения при применении регуляторов роста. [1] Особый интерес у исследователей вызывают дитерпеновые гликозиды растения *Stevia rebaudiana* Bertoni, агликоном которых является стевиол (13-гидрокси-энт-каур-16-ен-19-овая кислота) [2]. В тоже время в литературе есть сведения о том, что производные стевиол-гликозидов проявляют гиббереллиноподобную активность [3]. Таким образом, исследование механизмов действия регуляторов роста растений в условиях стресса, вызываемого тяжелыми металлами, в настоящее время является актуальным.

В связи с этим цель нашей работы состояла в исследовании динамики активности лектинов у проростков яровой пшеницы в связи с предварительной обработкой стевиозидом при действии тяжёлых металлов.

Объектом исследования служили проростки яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская 33.

Гиббереллинподобный дитерпен стевиозид (10^{-8} М) был синтезирован в ИОФХ имени А.Е. Арбузова в лаборатории фосфорных аналогов природных соединений член - корреспондента РАН В.Ф. Миронова.

Контрольные растения выращивали на водопроводной воде в течение 9 сут. В опытных вариантах растения росли на растворе стевиозид (10^{-8} М) в течение 5 суток, затем их переносили на растворы тяжелых металлов CdSO_4 , CuSO_4 и ZnSO_4 в концентрации 10 мкМ и 1мМ. Растворимые лектины экстрагировали 0.05 н HCl, лектины клеточной стенки - 0.05% раствором тритона X-100. Белок определяли по методу Лоури. Лектиновую активность определяли с помощью реакции гемагглютинации с эритроцитами 1 группы крови. Изменение активности растворимых лектинов у контрольных растений, выращиваемых на воде, объясняется суточной динамикой в ходе всего эксперимента.

На среде со стевиозидом наблюдалось незначительное повышение активности этих белков по сравнению с контролем.

Один из механизмов действия веществ гормональной природы может осуществляться через изменение активности и содержания фитоагглютининов. Имеются данные о способности лектинов, помимо углеводов, связываться с молекулами фитогормонов. Так, лектин пшеницы АЗП обладает высоким сродством к целому ряду фитогормонов, таких, как ауксины, цитокинины и гибберелловая кислота. Можно предположить, что комплекс лектины – фитогормоны участвует в запасании гормонов и регуляции роста растений [4]. Ранее нами показано, что основной дитерпеновый гликозид стевиозид обладает рострегулирующей активностью и повышает морозоустойчивость растений озимой пшеницы.

Изучение динамики активности растворимых лектинов при выращивании растений на растворах CdSO_4 , CuSO_4 и ZnSO_4 с высокой концентрацией (1мМ) показало, что активность этих белков возрастала в течение всего эксперимента (1-4 сут) и достигала своего максимума на третьи сутки. При этом чувствительность активности растворимых лектинов к кадмию и меди была выше, чем к цинку.

В низких концентрациях (10 мкМ) активность растворимых лектинов повышалась под влиянием CdSO_4 и CuSO_4 . ZnSO_4 в низкой концентрации не влиял на активность этих белков.

В литературе есть сведения о том, что применение некоторых регуляторов роста в ряде случаев позволяет снижать токсичность тяжелых металлов, что проявляется в частичном или полном снятии негативного влияния металлов на ростовые и окислительные процессы [1]. Однако механизм этих эффектов выяснен не в полной мере.

Предварительная обработка растений пшеницы раствором стевиозида (10^{-8} М) в течение 5 суток не изменяла влияние только CuSO_4 в концентрации 1 мМ на активность растворимых лектинов. Во всех остальных вариантах к 4-м суткам наблюдалось снижение эффекта тяжелых металлов на активность растворимых лектинов.

При определении динамики активности лектинов клеточной стенки наблюдалась следующая картина. Под влиянием стевиозида активность лектинов клеточной стенки не значительно изменялась по сравнению с контролем.

Изменения активности лектинов клеточной стенки под влиянием высокой концентрации тяжелых металлов носили фазный характер. При этом, как и в случае с растворимыми лектинами, ответная реакция растения на медь и кадмий была выражена сильнее по сравнению с цинком.

Известно, что ТМ снижают эластичность клеточных стенок. Уменьшение эластичности клеточных стенок в присутствии тяжелых металлов может быть обусловлено повреждением структуры микротрубочек [5] и нарушением водного режима клеток [6]. Возможно, что разрушение элементов цитоскелета тяжелыми металлами может приводить к высвобождению лектинов, локализованных в клеточной стенке и плазмалемме, и, тем самым, - к повышению их активности.

В низких концентрациях тяжелые металлы незначительно повышали активность лектинов клеточной стенки к 3-м суткам эксперимента (CuSO_4) или к 4-м суткам (CdSO_4 и ZnSO_4). По-видимому такой эффект низких доз обусловлен постепенным накоплением тяжелых металлов в растениях в ходе эксперимента.

Предварительная обработка растений стевиозидом уменьшила эффект Cu , Cd и Zn в высокой дозе. По-видимому, стевиозид ускорил адаптацию растений к действию тяжелых металлов, в результате чего наблюдали уменьшение активности лектинов клеточной стенки при действии стевиозида и тяжелых металлов по сравнению с действием только тяжелых металлов. В варианте с

низкими концентрациями тяжелых металлов (10 мкМ) стевиозид снизил активность лектинов клеточной стенки до уровня контроля.

Согласно проведенным нами исследованиям дитерпеновый гликозид стевиозид, выделенный из растительного сырья стевии обладает не только рострегулирующей, но и антистрессовой активностью. Об этом свидетельствует тот факт, что предварительная обработка растений пшеницы стевиозидом приводит к уменьшению влияния тяжелых металлов на активность растворимых и связанных с клеточной стенкой лектинов.

Литература

1. Башмаков Д. И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений: автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.б.н. – Н. Новгород, 2002. – 18 с.
2. Катаев В. Е., Р. Н. Хайбуллин, Р. Р. Шарипова, И. Ю. Стробыкина Дитерпеноиды и гликозиды энт-кауранового ряда: выделение, свойства, химическая трансформация // Обзорный журнал по химии. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 1–69.
3. Тимофеева О.А., Невмержицкая Ю.Ю., Мифтахова И.Г., Стробыкина А.С., Михайлов А. Л., Стробыкина И. Ю., Миронов В. Ф. Производные дитерпеноида стевиола регулируют рост и повышают морозоустойчивость озимой пшеницы // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 435, № 2. – С. 282–285.
4. Oliveira B.H., Stiirmer J.C., Filho J. D. S. [et al.] Plant growth regulation activity of steviol and derivatives // Phytochemistry – 2008. – V.69. – P. 1528-1533.
5. Иванов В.Б., Быстрова Е.И., Серегин И.В. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 445-454.
6. Lu C.-F., Kurjan J., Lipke P. A pathway for cell wall anchorage of *Saccharomyces cerevisiae* α -agglutinin // Mol. Cell. Biol. – 1994. – V.14, № 7. – P.4825-4833.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В *CHELIDONIUM MAJUS* L.

Э.Р. Хабибуллина, Л.З. Хуснетдинова

ФГБОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

В последние годы повысился интерес к лекарственным средствам растительного происхождения. Причиной этого является то, что природные биологически активные вещества обладают низкой токсичностью, они способны воздействовать на физиологические процессы, протекающие в

организме человека и, следовательно, повышать его естественную защиту. Вторичные метаболиты выполняют «экологические» функции, т.е. имеют значение для защиты растения от различных вредителей и патогенов; они участвуют в размножении растения (окраска и запах цветков, плодов), во взаимодействии растений между собой и другими организмами в экосистеме.

Важное значение имеет синтез и накопление вторичных метаболитов в растительном сырье. Вторичный метаболизм зависит от вида растения, типа вторичного метаболита и его физиологической роли и от внешних воздействий. Например, максимальный уровень накопления многих изопренидов (эфирных масел, стероидных гликозидов) часто приходится на период бутонизации и цветения. Синтез алкалоидов закономерно разворачивается в процессе онтогенеза. В млечном соке коробочек мака присутствует уже до 25 алкалоидов. В чистотеле на третьи сутки после прорастания появляется аллокриптопин, на четвертые – протопин, причем его сразу больше, чем аллокриптопина. Приведенные примеры и целый ряд других фактов показывают, что процесс вторичного метаболизма – четко работающая система, отслеживающая как внутренние факторы (этапы онтогенеза растения), так и внешние воздействия [1].

Процесс получения лекарственных средств из растительного сырья в большинстве случаев выгоднее химического синтеза. Особое внимание привлекает лекарственные растения семейства Papaveraceae, вида *Chelidonium majus* L.

Чистотел большой – является многолетником, представителем сем. Papaveraceae. *Chelidonium majus* L. – растение высотой 25-100 см. Корень стержневой, ветвистый, с коротким корневищем. Прикорневые и нижние стеблевые листья черешковые; верхние стеблевые – сидячие. Листья перисторассеченные, лировидные. Сегменты округлые, с неравномерно-городчатым краем. Цветки правильные, четырехчленные, собранные на концах стеблей в зонтиковидное соцветие. Плод – стручковидная одногнездная коробочка. Семена мелкие, яйцевидные, черные или темно-оливковые, блестящие. Все части растения содержат оранжево-желтый млечный сок. Цветет с мая до осени. Плоды созревают с июля. Растение ядовито [2].

Размножается семенами и вегетативно. Произрастает во всех районах европейской части СНГ, в Сибири (кроме крайнего Севера), на Кавказе: в городах Восточного Казахстана и Средней Азии.

Встречается как сорно-рудеральное растение близ жилья, в городах, садах, на пустынях.

Во всех частях растения содержатся алкалоиды (в траве до 2%, в корнях до 4%) – берберин, протопин, хелидонин, гомохелидонин, коптисин, стилопин, хелеритрин, сангвинарин и др.; каротин (до 14,9 мг%), аскорбиновая (до 170 мг %), хелидоновая, хелидолиновая, яблочная, лимонная и янтарная кислоты, сапонины, флавоноиды, эфирное масло (0,01%); в семенах обнаружено жирное масло (40-60%), кумарины, а в млечном соке – смолистые вещества [4].

Терапевтическое действие лекарственных растений обуславливается содержанием в них комплекса биологически активных веществ.

Основными свойствами чистотела являются спазмолитические, желчегонные и противовосполительные (бактерицидные). Наибольшей фармакологической активностью обладают алкалоиды чистотела. Например, хелидонин дает выраженный болеутоляющий и успокаивающий эффект. Кроме того, этот алкалоид оказывает спазмолитическое действие на гладкомышечные органы, обладает гипотензивным и брадикардическим свойствами. Гомохелидонин, дркгой алколоид чистотела, напртив, дает возбуждающе-судорожный эффект и проявляет местную анестезирующую активность. Алкалоид протопин уменьшает реактивность вегетативной нервной системы и усиливает тонус гладкой мускулатуры. Для хелеритрина характерно выраженное местно-раздражающее действие [3].

Таким образом, проведенный анализ показывает, что *Chelidonium majus* L. богат вторичными метаболитами и представляет определенный интерес в качестве лекарственного растительного сырья.

Литература

1. Мягчилов А.В., Соколова Л.И. Химия растительного сырья. – Владивосток, 2011. – №2. – С. 123-126.
2. Самылина И.А., Сорокина А.А. Атлас лекарственных растений и сырья. Учебное пособие по фармакогнозии. – М.: Авторская Академия; Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 318с.
3. Торилов В.Е., Мешков И.И.; под общ.ред. В.Е. Торилова. Технология возделывания и использования лекарственных растений – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 283 с.
4. Жохова Е.В., Гончаров М.Ю., Повыдыш М.Н., Деренчук С.В. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических колледжей и техникумов – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 544 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА РОСТ КОРНЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ И ВОДНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАН.

А.С. Албутова, Т.А. Сибгатуллин, В.Н. Воробьев

ФГБОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань.
КИББ КазНЦ РАН, г. Казань

Возрастающее давление на биосферу химических соединений и физических полей антропогенной природы, создавая новые проблемы для экологов, вместе с тем открывает уникальные методические возможности исследования фундаментальных вопросов метаболизма растений, в том числе ростовых процессов. Так активное применение редкоземельных элементов

(РЗЭ) в электронной промышленности и сельском хозяйстве, которое предполагает загрязнение ими окружающей среды, стимулировало исследования физиологических эффектов вызываемых РЗЭ. Будучи комплексообразователями, РЗЭ способны образовывать комплексы со многими органическими лигандами и замещать ионы кальция, магния и переходных металлов в биологических системах. Имея примерно одинаковый с Ca^{2+} ионный радиус, но более высокий заряд, лантаноиды вступают с ним в конкурентное взаимодействие за места связывания в молекулах биополимеров, изменяя их свойства и конформацию, что влияет на выполнение белками той или иной специфической функции [1]. Положительное действие РЗЭ в синтезе абсцизовой кислоты, ускоряющей созревание плодов, было выявлено при испытании эффективности нового микроудобрения, полученного по адсорбционной технологии на основе природного цеолита (морденитового туфа) и лантана [2]. При испытании его эффективности было показано ускорение созревания на 5-7 суток томатов и сладкого перца, увеличение урожайности, улучшение их пищевых качеств. В лабораторном опыте при инкубировании почвы с микроудобрения активизировались микробиологические и ферментативные процессы в почве, повышалась урожайность гороха в вегетационном опыте при внесении микроудобрений в почву [3]. При этом вопросы влияния РЗЭ на ростовые процессы и продуктивность растений все еще остаются мало изученными. Цель исследований — изучить влияние лантаноидов на рост корней отличающихся строением первичной клеточной стенки.

Материал и методы.

В качестве объектов исследования использовали трехдневные проростки гороха посевного (*Pisum sativum*) и кукурузы (*Zea mays* L), выращенные на фильтрованной водопроводной воде. На четвертый день заменяли среду инкубации с воды на растворы солей. Время нахождения корней проростков в растворах - 24 часа. В каждой повторности использовали десять растений. Всего повторностей три.

Скорость роста корня (V_k) определяли методом Брауна [4].

Исследовали влияние растворов $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Lu}(\text{NO}_3)_3$ в концентрациях 10^{-5}M , 10^{-4}M и 10^{-3}M .

Статистическая обработка данных проводилась в OriginPro, определялись средние значения и стандартное отклонение. Достоверность отличий определялась по t-тесту при $P=0,05$.

Проницаемость мембран в клетках корней определялась по зависимости наблюдаемого среднего коэффициента диффузии воды от времени диффузии. Измерения проводились на ЯМР-анализаторе «СПИН ТРЭК» (Resonance Systems Ltd., Йошкар-Ола) в поле постоянного электромагнита (Bruker, Германия) на резонансной частоте 19.1 МГц. Время диффузии t_d изменялось от 20 до 600 мс (6 значений времени диффузии: 20, 50, 100, 200, 400, 600 мс). Наблюдаемый средний коэффициент диффузии воды определялся по

начальному наклону зависимости сигнала намагниченности от величины прикладываемого импульсного градиента магнитного поля [5]. Измерение коэффициента диффузии воды проводилось в поперечном направлении относительно корня. Аппроксимируя зависимость среднего коэффициента диффузии от времени уравнением (2) [6] были определены параметры D_0 – коэффициент диффузии внутриклеточной воды в пределе коротких времен диффузии, D_∞ – в пределе больших времен диффузии, R – средний поперечный размер клеток корня.

$$D_s(t_d) = \frac{R^2}{2t_d} \frac{D_0 - D_\infty}{\frac{R^2}{2t_d} + D_0} + D_\infty \quad (2)$$

Используя эти параметры по уравнению Крика (3) [7] рассчитывалась проницаемость мембран клетки P в приближении плоско-параллельных пластин (мембран).

$$\frac{1}{D_\infty} = \frac{1}{D_0} + \frac{1}{P \cdot R} \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение.

На рис. 1 приведены зависимости скорости роста растяжением корней гороха (А) и кукурузы (В) от концентрации солей. Скорость роста гороха в контрольном варианте составила $18,3 \pm 0,7$ мм, что соответствует размерам зоны растяжения [8]. Двудольные, к которым относится горох, имеют первичную клеточную стенку I-ого типа с Ca^{2+} -сшивками полигалактуроновых кислот. Ожидалось, что ионы РЗЭ вытесняя Ca^{2+} , окажут влияние на растяжимость клеточной стенки. Действительно угнетение скорости роста растяжением проявляется даже при концентрации 10^{-5}М в варианте с диспрозием ($P < 0,01$). В остальных вариантах угнетение при этой концентрации не достоверно. Достоверное снижение скорости роста наблюдается при более высоких концентрациях солей используемых РЗЭ. Кальций не вызывал достоверного снижения роста в концентрациях 10^{-5}М и 10^{-4}М .

Скорость роста кукурузы в контрольном варианте составила $36,6 \pm 1,15$ мм, что соответствует размерам зоны растяжения [8]. В концентрациях 10^{-5}М и 10^{-4}М ионы редкоземельных металлов не оказали достоверного влияния на скорость роста ($P < 0,1$), тогда как ионы кальция ингибировали этот процесс. При высоких концентрациях редкоземельных ионов наблюдалось значительное ингибирование роста (рис.1, В).

Согласно гипотезе «кислого роста» снижение рН в клеточной стенке, вызванное действием ауксина, стимулирует ее растяжение. «Кислый рост» ингибируется при нагревании или обработке протеазами, что свидетельствует о ключевой роли белков в этом процессе.

В ходе роста растительных клеток первичным агентом, вызывающим изменение механических свойств клеточной стенки, служат экспансины.

Специфичная для растягивающихся клеток активность трансгликозилаз и гликаназ необходима для неизбежной реструктуризации клеточной стенки [9].

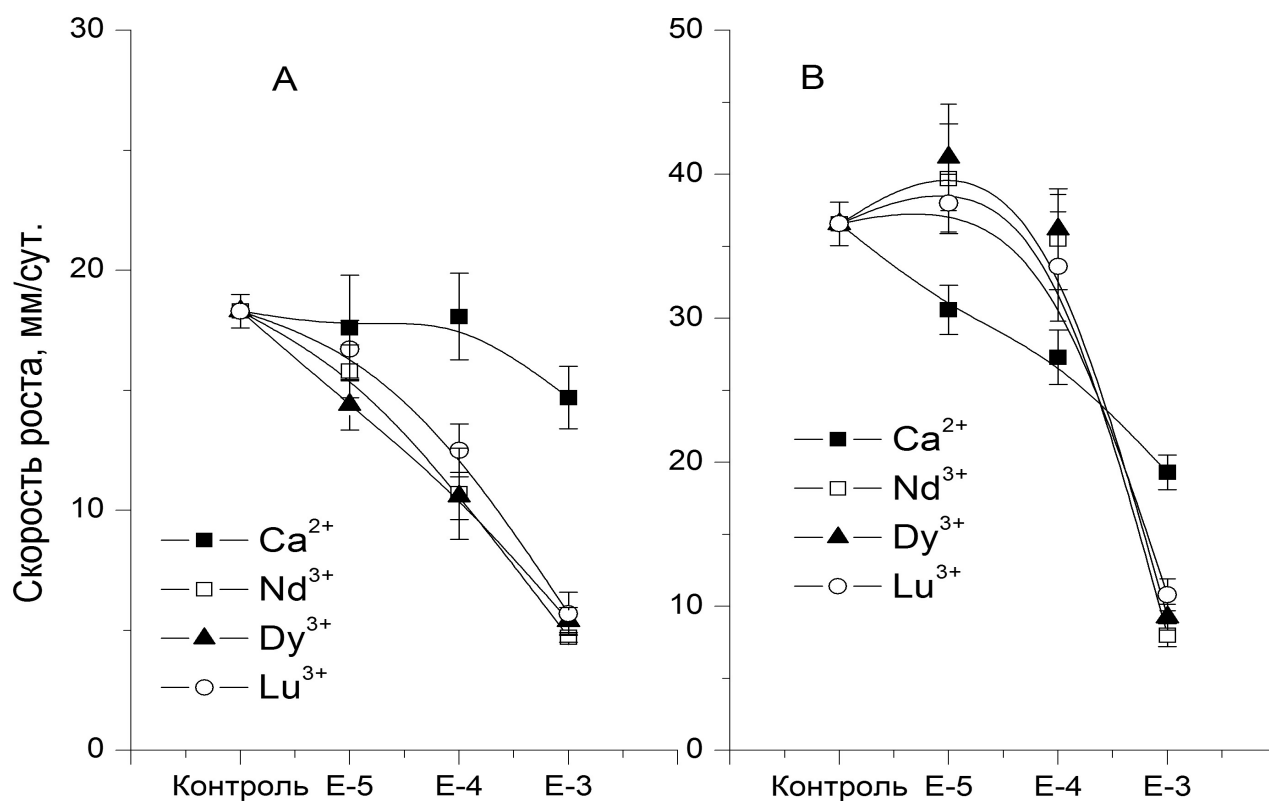


Рис. 1. Зависимость скорости роста растяжением корней гороха (А) и кукурузы (В) от концентрации солей.

Известно, что замедление роста корней кукурузы при водном дефиците связано с накоплением фенольных соединений в клеточных стенках сосудов [10]. Механизм торможения роста растяжением может быть связан с образованием ионных связей между уроновыми кислотами с участием Ca^{2+} [11]. Активность пектинметилэстеразы, обеспечивающей условия для образования таких связей, снижена в растущих тканях [12]. Имеются данные о влиянии диферуловой кислоты, которая может образовывать поперечные сшивки между полимерами клеточной стенки [12] на рост растяжением.

В отличие от гороха ионы кальция замедляли рост корней кукурузы (рис. 1). Различия в действии могут быть связаны с наличием в первичной клеточной стенке гороха уроновых кислот, с которыми кальций взаимодействует. Незначительные концентрации Ca^{2+} в растворе выращивания не оказывают заметного влияния на прочность сшивок между уроновыми кислотами, но сорбируют экзогенный Ca^{2+} , что снижает его влияние на клетку. В первичных клеточных стенках однодольных специфических связывающих Ca^{2+} агентов нет, следовательно, экзогенный кальций беспрепятственно доходит до плазматической мембраны, вызывая эффекты торможения роста корней.

Торможение роста корней гороха можно объяснить конкуренцией РЗЭ с кальцием за места связывания в сшивках полигалактуроновых кислот. Втесняя

кальций, редкоземельные ионы образуют более прочные связи с уроновыми кислотами, что блокирует рост корней. Отсутствие или не достоверное увеличение скорости роста корней кукурузы при низких концентрациях РЗЭ логично объясняется известным фактом вытеснения Ca^{2+} из плазмалеммы в цитоплазму [13].

По данным ЯМР исследований у гороха под воздействием РЗЭ наблюдается уменьшение проницаемости мембран клеток корней относительно контроля для всех исследованных ионов. Этот эффект наиболее выражен в зоне роста корня (уменьшение проницаемости в 2-4 раза в зависимости от иона металла).

Действие ионов РЗЭ на водную проницаемость мембран клеток корней кукурузы не однозначно. Проницаемость может, как уменьшаться, так и увеличиваться или оставаться неизменной относительно контроля в зависимости от иона..

В итоге, использованные в экспериментах РЗЭ оказывают не однозначное влияние на рост корней и проницаемость их мембран для воды однодольных и двудольных растений, что не вполне согласуется с данными о стимулирующем урожайность эффекте микроудобрений на основе лантана и неодима.

Литература.

1. Верхова, О.А. Сорока В.Р. Биологическая роль лантаноидов // Успехи современной биол. - 1980. № 3. С. 365-381.
2. Кожевникова Н.М., Абашеева Н.Е., Гаркушева Н.М., Меркушева М.Г., Солдатова З.А. Получение неодимсодержащих удобрений по сорбционной технологии // Химия в интересах устойчивого развития. - 2005. №13. С. 65-69.
3. Абашеева Н.Е., Кожевникова Н.М., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Маладаев А.А., Солдатова З.А. Влияние лантана и неодима на нитрификационную активность почвы, урожай кукурузы и гороха // Агрохимия. - 2005. №2. С. 55-60.
4. Иванов В.Б.. Клеточные основы роста растений. М.: Наука, 1974. 222с.
5. Маклаков А.И., Скирда В.Д., Фаткуллин Н.Ф. Самодиффузия в растворах и расплавах полимеров. - Казань: - Издательство Казанского университета, 1987.-224 с.
6. Сибгатуллин Т.А., Анисимов А.В., де Ягер П.А. и др. Анализ диффузионного и релаксационного поведения воды в клетках мякоти яблока // Биофизика.-2007.-№ 52.-С.268.
7. Crick F. Diffusion in embryogenesis // Nature.-1970.-№ 225.-С.420.
8. Обручева Н.В.. Физиология растущих клеток корня. - М.: Наука, 1965. 109с.
9. Горшкова Т.А. Растительная клеточная стенка как динамическая система. - М.: Наука, 2007. 429 с.
10. Fan L., Linker R., Gepstein S. et al. Progressive inhibition by water deficit of cell wall extensibility and growth along the elongation zone of maize roots is

- related to increased lignin metabolism and progressive stellar accumulation of wall phenolics // Plant Physiol. - 2006. Vol. 140, N 2. P. 603-612.
11. Geitman A., Parre E. The local cytomachanical properties of growing pollen tubes correspondent to the axial distribution of structural cellular elements // Sex. Plant Reprod. - 2004. Vol. 17 P. 9-16.
 12. Pilling J., Willmitzer L., Fisahn J. Expression of a *Petunia inflata* pectin methyl esterase in *Solanum tuberosum* L. enhances stem elongation and modifies cation distribution // Planta. - 2000. Vol. 210. P. 391-399.
 13. Золин В.Ф., Коренева Л.Г. Редкоземельный зонд в химии и биологии. - М.: Наука, 1980. 350 с.

НОВОЕ МОДЕЛЬНОЕ РАСТЕНИЕ *BRACHYPODIUM DISTACHYON*

Ишкова Т. Н., Якушенкова Т.П.

ФГБОУВПО "Казанский (Приволжский) федеральный университет", г. Казань

Brachypodium distachyon является широко признанной моделью, и первым видом травы подсемейства *Pooideae* с изученной последовательностью генома. Благодаря своей неприхотливости, компактному геному аннотированному в 2010 году, *Brachypodium* играет все более важную роль в изучении структуры трав функциональной геномики. *Brachypodium distachyon* очень удобен для исследований за счёт небольшого роста и быстрого жизненного цикла. В рамках соответствующего фотопериода это новое модельное растение может пройти период от прорастания до раннего цветения.

Целью работы являлось:

- 1) адаптирование условий выращивания *Brachypodium distachyon* к условиям нашей кафедры, изучение физиолого- биохимических показателей вида и сравнение их с показателями пшеницы сорта *Казанская 560*;
- 2) исследование влияния света различного спектрального состава на новое модельное растение *Brachypodium distachyon*.

Мной были изучены следующие показатели: морфометрия; определение в суммарном экстракте пигментов каротиноидов и хлорофиллов; измерение интенсивности ассимиляции CO₂ на газовом анализаторе GFS - 3000; определение активности каталазы; определение содержания воды и сухого вещества в растительном материале - *Brachypodium distachyon* по Третьякову Н. Н. 1982 г.

Исходя из полученных данных, содержание каротиноидов у пшеницы было выше, чем *Brachypodium distachyon*. Более низкий уровень содержания Хл в у *Brachypodium distachyon* может свидетельствовать о разности в процессах поглощения света у *Brachypodium distachyon* и пшеницы сорта Казанская 560. Поскольку содержание хлорофиллов и каротиноидов выше у пшеницы, можно предположить, что пшеница имеет высокий адаптационный и эффективный фотосинтетический аппарат [1].

В результате наших исследований было установлено, что интенсивность ассимиляции CO_2 у *Brachypodium distachyon* больше, чем у пшеницы сорта Казанская 560. Ассимиляционное число у *Brachypodium distachyon* равно 0,079, а у пшеницы 0,028. Таким образом, не смотря на низкое содержание суммы хлорофиллов, *Brachypodium distachyon* обладает большей продуктивностью. На ассимиляцию CO_2 очень большое влияние оказывает не только содержание хлорофилла, но и заметную роль играют и другие внутренние факторы. Был сделан вывод, что скорость фотосинтеза может и не зависеть от содержания хлорофилла, так как хлорофилл является фотокатализатором и его нехватка только ограничивает, но не определяет скорость фотосинтеза [2].

Растительные организмы обладают достаточной устойчивостью к окислительным повреждениям, и повреждения такого рода возникают, как правило, лишь при резком изменении физиологического состояния растения и воздействии различных внешних факторов. Это обусловлено существованием в растительной клетке эффективных антиоксидативных систем, то есть систем, способных обеспечить защиту как от кислородных радикалов, так и от синглетного кислорода [3].

Каталазная активность выше там, где вырабатывается больше активных форм кислорода. Исходя из наших исследований каталазная активность в листьях *Brachypodium distachyon* выше, чем в листьях пшеницы. Можно предположить, что в листьях *Brachypodium distachyon* вырабатывается большее количество активных форм кислорода.

В корнях *Brachypodium distachyon* активность каталазы ниже, чем у пшеницы, что свидетельствует о меньшем содержании активных форм кислорода.

К факторам, понижающим каталазную активность, относят недостаточность витаминов группы В, фолиевой кислоты, рибофлавина, витамина А. Снижать активность каталазы могут различные вещества: цианиды, азиды, сульфиды (способны блокировать железо в гематиновой группе), нитраты, фосфаты, сульфаты, многие кислоты. Снижение активности каталазы также наблюдается при избытке метионина, тирозина, цистина, меди, цинка [3].

Таким образом, более низкая активность каталазы в корнях *Brachypodium distachyon* может быть обусловлена также повышенным содержанием нитратов, фосфатов, сульфатов в корнях этого растения.

Brachypodium distachyon прошел полный жизненный цикл в условиях нашей кафедры. Обнаружено, что количественное содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях *Brachypodium distachyon* в сравнении с пшеницей значительно не отличается. Интенсивность фотосинтеза у *Brachypodium distachyon* выше, чем у пшеницы. Установлено, что проростки с белого и синего участка спектра обладали более низкой интенсивностью роста. Выявлена обратная органоспецифическая закономерность активности каталазы у *Brachypodium distachyon* по сравнению с пшеницей.

Литература

1. Кынчев Р., Ишев И., Ранее обнаружение физиологического стресса растительности по многоспектральным данным// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. с. 319-326.
2. Хит О. Фотосинтез: Физиологические аспекты. - М: Мир, 1972. 305 с.
3. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки // Итоги науки и техники. – 1989. –Т. 6. –С.167.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<u>Н.С. Говорова</u> , С.Н. Черезов КОРРЕЛЯЦИЯ ПРОСТЫХ САХАРОВ И ОБЩЕГО АЗОТА В РАЗНЫХ ОРГАНАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ	Стр. 3
<u>Л.Р. Самигуллина</u> , Л.П. Хохлова МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ОРГАНОВ У ТРЕХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ	Стр. 5
<u>А.И. Мутугуллина</u> , Т.П. Якушенкова ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ И СОДЕРЖАНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ, ВЫРАЩЕННЫХ НА РАЗНОКАЧЕСТВЕННОМ СВЕТУ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАСОЛЕНИЯ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	Стр. 8
<u>Г.И. Гараева</u> , С.Н. Черезов ДИНАМИКА САХАРОВ И АЗОТА В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВАРИАЦИИ N:P:K СООТНОШЕНИЙ	Стр. 11
<u>Е.А. Грошева</u> , Г.Х. Шаймуллина, Ю.Ю. Невмержицкая АКТИВНОСТЬ ЛЕКТИНОВЫХ БЕЛКОВ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ ИНФИЦИРОВАНИЯ ФИТОПАТОГЕНАМИ	Стр. 14
<u>А.П. Кузнецова</u> , Т.П. Якушенкова РЕГУЛЯЦИЯ СВЕТОМ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОВЫХ КРИВЫХ ФОТОСИНТЕЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	Стр. 17
<u>У. А. Огороднова</u> , А. С. Стробыкина, Ю. Ю. Невмержицкая. РОСТ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В СВЯЗИ С ОБРАБОТКОЙ ДИТЕРПЕНОВЫМИ ГЛИКОЗИДАМИ.	Стр. 20
<u>А.И. Фаляхова</u> , В.Н. Воробьёв ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРЫ	Стр. 23
<u>Р.Р. Хусаинова</u> , Г.Х. Шаймуллина, Ю.Ю. Невмержицкая ДИНАМИКА ЛЕКТИНОВОЙ АКТИВНОСТИ В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПАТОГЕНЕЗЕ	Стр. 26

<u>Э.И. Хусаинова, Й.Р. Абдрахимова</u> АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ	Стр. 31
<u>Л.И. Шарифуллина, Ф.В.Минибаева</u> СТРУКТУРА И АКТИВНОСТЬ СТРЕСС-ИНДУЦИРУЕМЫХ ГЕНОВ АПОПЛАСТНЫХ ПЕРОКСИДАЗ ПШЕНИЦЫ	Стр. 34
<u>Ю.В. Корнилова, Я.В. Середнева</u> ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ХЛОРОПЛАСТАХ ГОРОХА	Стр. 37
<u>Р.Т. Мударисова, В.И. Чиков</u> ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГЕНА АПОПЛАСТНОЙ ИНВЕРТАЗЫ НА ОТТОК АССИМИЛЯТОВ И ОБРАЗОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ ФОТОСИНТЕЗА В РАЗНЫХ ОРГАНАХ У РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ	Стр. 40
<u>Г.И. Рамазанова, А.Л. Михайлов, Ю.Ю. Невмержицкая</u> АКТИВНОСТЬ ФИТОАГГЛЮТИНИНОВ У ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТЕВИОЗИДА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	Стр. 46
<u>Э.Р. Хабибуллина, Л.З. Хуснетдинова</u> АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В <i>CHELIDONIUM MAJUS</i> L.	Стр. 49
<u>А.С. Албутова, Т.А. Сибгатуллин, В.Н. Воробьев</u> ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА РОСТ КОРНЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ И ВОДНУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАН.	Стр. 51
<u>Т.Н. Ишкова., Т.П. Якушенкова</u> НОВОЕ МОДЕЛЬНОЕ РАСТЕНИЕ <i>BRACHYPODIUM DISTACHYON</i>	Стр. 56